KONSTRUKSI BETON BERTULANG

KURIKULUM 2013

JILID 2

Semester 4

KEMENTRIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

DIREKTORAT PEMBINAAN SEKOLAH MENENGAH KEJURUAN
2013

KATA PENGANTAR

Buku siswa atau Bahan ajar ini disusun dalam bentuk paket pembelajaran yang berisi uraian materi untuk mendukung penguasaan kompetensi/elemen kompetensi tertentu yang ditulis sequensial, sistematis dan sesuai dengan prinsip pembelajaran yang mengacu kepada kurikulum SMK 2013.

Buku siswa ini, merupakan salah satu bahan ajar yang sangat sesuai dan mudah dipelajari secara individu. Karena itu, meskipun buku siswa ini dipersiapkan untuk pengembangan kompetensi kejuruan bagi siswa SMK khususnya bidang teknik Konstruksi Batu dan Beton dan atau tenaga kependidikan, dapat digunakan juga untuk pendidikan lain yang sejenis. Di dalam penggunaannya, bahan ajar ini tetap mengharapkan penerapan azas keluwesan dan keterlaksanaan, yaitu menyesuaikan dengan karakteristik peserta, kondisi fasilitas dan tujuan kurikulum SMK 2013.

Dengan demikian, kepada semua pihak baik unit kerja maupun guru/tenaga pengajar diharapkan untuk dapat berusaha mengoptimalkan penggunaannya sehingga kegiatan pembelajaran yang dilakukan lebih bermakna dalam meningkatkan/membekali kompetensi peserta didik/siswa.

Kami, atas nama Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Bidang Mesin dan Teknik Industri (PPPPTK BMTI) Bandung, menyampaikan terima kasih dan penghargan yang setinggi-tingginya kepada para penulis dan semua pihak yang terkait atas peran sertanya dalam penulisan buku ini.

Demikian, semoga buku yang telah disusun ini dapat bermanfaat dalam mendukung pengembangan pendidikan kejuruan, khususnya dalam peningkatan kompetensi kejuruan peserta didik/siswa.

Bandung, Desember 2013

BAB I. PENDAHULUAN

A. DESKRIPSI

Buku ini memuat pembahasan tentang Konstruksi Beton bertulang untuk kelas XI semester II meliputi; penampang balok T dan balok bertulangan rangkap, penulangan geser pada balok, dan perencanaan kolom pada konstruksi beton bertulang. Kompetensi-kompetensi tersebut sangat penting untuk sekolah menengah kejuruan (SMK) maupun tenaga-tenaga yang berkecimpung dalam dunia teknik sipil, karena banyak topik-topik yang berkaitan dengan kelompok keahlian pada spektrum SMK khususnya teknik bangunan, bahkan pada pekerjaan sehari-hari dalam pekerjaan teknik sipil.

Dalam buku ini disajikan uraian materi dan contoh, latihan memecahkan soal dan diakhiri dengan tes dalam setiap materi pokok pembelajaran. Buku ini terdiri dari lima materi pokok pembelajaran yaitu:

1. Penampang balok T dan balok bertulangan rangkap
2. Penulangan geser pada balok
3. Dasar perencanaan kolom pada konstruksi beton bertulang
4. Perancah
5. Bekisting

B. PRASYARAT

Prasyarat untuk pembelajaran mata pelajaran konstruksi beton bertulang pada kelas XI semester I, anda telah berhasil mempelajari :

1. Pengetahuan bahan/teknologi bahan bangunan
2. Mata Pelajaran Matematika pada kelas X semester I dan II
3. Mata Pelajaran Fisika pada kelas X semester I dan II
4. Mata Pelajaran Gambar teknik pada kelas X semester I dan II
5. Mata Pelajaran Ukur Tanah pada kelas X semester I dan II
6. Mata Pelajaran Mekanika teknik pada kelas X semester I dan II
7. Mata Pelajaran Konstruksi Bangunan pada kelas X semester I dan II
8. Mata Pelajaran Konstruksi Beton Bertulang pada kelas XI semester II

C. PETUNJUK PENGGUNAAN

Untuk membantu anda agar berhasil dengan baik dalam mempelajari buku ini, ikutilah petunjuk belajar berikut ini.

1. Bacalah dengan cermat Pendahuluan ini, sehingga Anda memperoleh gambaran secara global isi buku, untuk apa dipelajari dan bagaimana mempelajarinya.
2. Bacalah dengan seksama uraian materi dan contoh-contoh perhitungannya, jika perlu carilah contoh lain. Berilah tanda-tanda pada bagian-bagian yang Anda anggap penting atau bagian yang Anda sulit memahami sebagai bahan yang perlu ditanyakan saat tutorial.
3. Kunci utama agar berhasil dalam belajar adalah kesanggupan untuk berlatih memecahkan soal-soal. Oleh karena itu, kerjakanlah soal-soal latihan baik secara individual, maupun dalam kelompok kecil atau dalam tutorial, untuk pemantapan.
4. Kerjakanlah tiap soal latihan tanpa melihat lebih dulu petunjuk jawabannya, jika Anda belum memperoleh cara penyelesaian, lihatlah kembali uraian materinya. Kegiatan seperti inilah yang sebenarnya merupakan inti dari belajar mata pelajaran konstruksi beton bertulang kelas XI semester I.
5. Kerjakanlah semua nomor dari tes evaluasi dengan tidak melihat lebih dulu kunci jawabannya. Jika menemui kesulitan, lihatlah kembali uraian materi, rangkuman, atau soal latihan dan petunjuk jawabannya yang diperkirakan sesuai untuk menjawab soal tes tersebut. Setelah selesai menjawab semua nomor dari tes, baru mencocokan hasil pekerjaan itu dengan kunci jawaban tes latihan yang ada pada buku pegangan guru..

D. TUJUAN AKHIR

Setelah mempelajari buku pembelajaran ini, diharapkan peserta didik atau siswa sekolah menengah kejuruan (SMK) dapat :

1. Menerapakan prinsip dan konsep Keselamatan dan Kesehatan Kerja dan lingkungan Hidup (K3LH) dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi beton bertulangan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI)
2. Menjelaskan dan Menghitung penampang balok T dan balok bertulangan rangkap sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03
3. Menjelaskan dan Menghitung penulangan geser balok terlentur sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03
4. Menjelaskan dan menerapkan pemasangan perancah dan bekisting dalam konstruksi beton bertulang

E. KOMPETENSI INTI DAN KOMPETENSI DASAR

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
1. Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya	1.1 Menambah keimanan dengan menyadari hubungan keteraturan dan kompleksitas alam terhadap kebesaran Tuhan yang menciptakannya 1.2 Menyadari kebesaran Tuhan yang menciptakan dan mengatur karakteristik konstruksi beton bertulang.
2. Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan pro-aktif dan menunjukan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia.	2.1 Menunjukkan perilaku ilmiah (memiliki rasa ingin tahu; objektif; jujur; teliti; cermat; tekun; hati-hati; bertanggung jawab; terbuka; kritis; kreatif; inovatif dan peduli lingkungan) dalam aktivitas sehari-hari sebagai wujud implementasi sikap dalam melakukan pekerjaan konstruksi beton bertulang dan diskusi 2.2 Menghargai kerja individu dan kelompok dalam aktivitas sehari-hari sebagai wujud implementasi melaksanakan pekerjaan dan melaporkan hasil pekerjaan Konstruksi beton bertulang
3. Memahami, menerapkan, dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab	3.2 Melaksanakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja serta Lingkungan Hidup dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi beton bertulang 3.3 Menerapkan ketentuan/syarat-syarat/notasi dalam pemeriksaan bahan-bahan beton bertulang 3.4 Menerapkan konsep statika untuk balok persegi dan plat lantai bertulangan tarik saja 3.5 Menerapkan konsep statika untuk

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.	penampang balok T dan balok bertulangan rangkap 3.6 Menerapkan konsep statika untuk penulangan geser pada balok 3.7 Menerapkan konsep statika untuk perencanaan kolom pada konstruksi beton bertulang 3.8 Menerapakan ketentuan pemasangan cetakan/bekisting, perancah dan scafolding pada konstruksi bangunan 3.9 Merencanakan gambar kerja dalam pekerjaan konstruksi beton bertulang
4. Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan diri yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, bertindak secara efektif dan kreatif, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung.	4.1 Mengevaluasi pelaksanaan K3LH dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi beton bertulang 4.2 Melaksanaan dan menyajikan pemeriksaan bahan-bahan konstruksi beton bertulang sesuai dengan SNI 4.3 Mengolah hasil perhitungan statika untuk balok persegi dan plat lantai bertulangan tarik saja 4.4 Mengolah hasil perhitungan statika untuk penampang balok T dan balok bertulangan rangkap 4.5 Mengolah hasil perhitungan statika untuk penulangan geser pada balok 4.6 Mengolah hasil perhitungan statika untuk perencanaan kolom pada konstruksi beton bertulang 4.7 Melaksanakan pemasangan cetakan/bekisting, prancah dan scafolding pada pekerjaan konstruksi beton bertulang

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
	4.8 Mengolah dan menyajikan gambar kerja bangunan konstruksi beton bertulang dan merevisi gambar kerja dalam pekerjaan konstruksi beton bertulang sesuai perubahan yang telah disepakati pihak yang terkait

F. CEK KEMAMPUAN AWAL

BAB II. PEMBELAJARAN

A. DESKRIPSI

Untuk membekali siswa dapat mencapai kompetensi yang sudah ditetapkan, maka ruang lingkup materi yang akan dibahas pada buku ini meliputi : pembahasan tentang struktur beton yang merupakan lanjutan dari mata pelajaran konstruksi beton bertulang kelas XI semester I, yaitu Penampang balok T dan balok bertulangan rangkap, penulangan geser , dan memahami dasar perencanaan kolom berdasarkan SK SNI T-15-1991-03.

B. KEGIATAN BELAJAR

1. KEGIATAN BELAJAR 1. PENAMPANG BALOK T DAN BALOK BERTULANGAN RANGKAP

a. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi pada unit ini siswa diharapkan dapat :

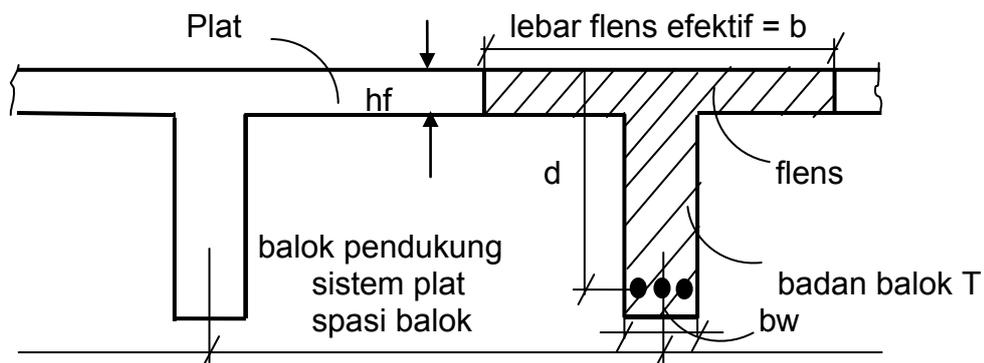
- Menjelaskan penampang balok T dan balok bertulangan rangkap sesuai dengan SK SNI
- Menjelaskan analisis balok T terlentur dan penulangan tarik balok T
- Menjelaskan dasar perencanaan balok T, balok persegi bertulangan rangkap

b. Uraian Materi

1) Tugas 1. Analisis Balok T Terlentur

Komponen lantai atau atap bangunan struktur beton bertulang dapat berupa plat dengan seluruh beban yang didukung langsung dilimpahkan ke kolom dan selanjutnya ke pondasi bangunan.

Analisis dan perencanaan balok yang dicetak menjadi satu kesatuan monolit dengan plat lantai atau atap, didasarkan pada anggapan bahwa antara plat dengan balok-balok terjadi interaksi saat menahan momen lentur positif yang bekerja pada balok. Interaksi antara plat dan balok-balok yang menjadi satu kesatuan pada penampangnya membentuk huruf T tipikal, dan oleh karena itulah balok=balok dinamakan sebagai balok T. Plat akan berlaku sebagai lapis sayap (flens) tekan dan balok-balok sebagai badan. Dalam hal ini, plat yang berfungsi sebagai flens dari balok T juga harus direncana dan diperhitungkan tersendiri terhadap lenturan pada arah melintang terhadap balok-balok pendukungnya. Dengan demikian plat yang berfungsi sebagai flens tersebut akan berperilaku sebagai komponen

struktur yang bekerja pada dua arah lenturan yang saling tegak lurus. Pada perpotongan antar balok T, struktur akan mendukung momen lentur negatif dimana tepi atas plat berada dalam keadaan tertarik sedangkan badan balok di bagian bawah dalam keadaan terdesak. Untuk perencanaan dan analisis, serta penyederhanaan perilaku plat terlentur pada dua arah yang rumit, standar SK SNI menetapkan kriteria lebar efektif tertentu untuk plat (flens) yang diperhitungkan bekerja sama dengan balok-balok dalam rangka menahan momen lentur yang bekerja pada balok.

Gambar 1. Balok T Sebagai Sistem Lantai

Lebar flens efektif untuk bentuk simetrik tidak boleh diperhitungkan lebih besar dari jarak spasi antar balok pendukung perhatikan gambar di atas.

Standar SK SNI memberikan pembatasan lebar flens efektif balok T sebagai berikut:

(a) Lebar flens efektif yang diperhitungkan tidak lebih dari seperampat panjang bentang balok, sedangkan lebar efektif bagian plat yang menonjol di kedua sisi dari balok tidak lebih dari delapan kali tebal plat, dan juga tidak lebih besar dari separoh jarak bersih dengan balok disebelahnya. Atau dengan kata lain, lebar flens efektif yang diperhitungkan tidak lebih besar dan diambil nilai terkecil dari nilai-nilai berikut;

- seperampat panjang bentang balok
- bw + 1/6 hf
- jarak dari pusat ke pusat antar balok

(b) Untuk balok yang hanya mempunyai flens pada satu sisi, lebar efektif bagian plat yang menonjol yang diperhitungkan tidak lebih besar dari

seper duabelas (1/12) panjang bentangan balok, atau enam kali tebal plat, atau ½ jarak bersih dengan balok disebelahnya.

(c) Untuk balok yang khusus dibentuk sebagai balok T dengan maksud untuk mendapatkan tambahan luas daerah tekan, ketebalan flens tidak boleh lebih besar dari separoh lebar balok, dan lebar flens total tidak boleh lebih besar dari empat kali lebih lebar balok.

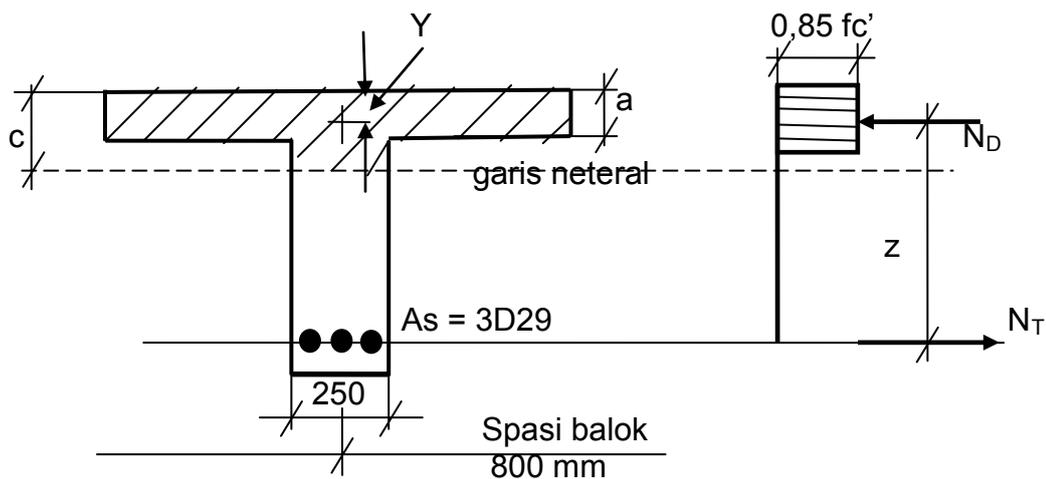
Persyaratan daktilitas balok T sama dengan yang disyaratkan bagi balok persegi dimana rasio penulangan maksimum tidak boleh lebih besar dari 0,75 ρ_b. Tetapi nilai tersebut tidaklah sama dengan nilai-nilai yang tercantum dalam tabel untuk balok persegi, karena bentuk balok T memberikan daerah tekan khusus yang cenderung lebih luas. Untuk digunakan sebagai alat bantu dalam perencanaan dan analisis diberikan variasi pendekatan nilai 0,75 ρ_b. Sedangkan nilai rasio penulangan minimum ditetapkan seperti yang sudah dikenal dalam pembatasan terdahulu: $\rho_{\min} = \frac{1{,}4}{fy}$.sesuai dengan ketentuan SK SNI, rasio penulangan aktual ditentukan dengan menggunakan lebar badan balok (bw) dan bukannya lebar flens efektif (b). Ketentuan tersebut berlaku apabila badan balok dalam keadaan tertarik. Karena flens balok T menyediakan daerah tekan yang relatif luas, Pada umumnya kapasitas momen tahanan ditentukan oleh lelehnya baja tulangan tarik. Maka dari itu, cukup aman bila dilakukan anggapan bahwa baja tulangan tarik akan melelh sebelum beton mencapai regangan tekan batas dan kemudian hancur. Gaya tarik total N_T pada keadaan batas dihitung dengan menggunakan persamaan berikut; N_T = As fy.

Untuk proses analisis harus diketahui terlebih dahulu bentuk blok tegangan tekan. Seperti halnya pada analisis balok persegi seperti telah diurakan terdahulu, gaya tekan total ND harus seimbang dan sama dengan gaya tarik total NT. Bentuk blok tegangan tekan harus sesuai dengan luasan daerah beton tekan. Dengan demikian terdapat dua kemungkinan keadaan yang aka terjadi, blok tegangan tekan seluruhnya masuk didalam daerah flens, atau meliputi seluruh daerah flens ditambah sebagian lagi di badan balok. Berdasarkan dua kemungkinan tersebut ditetapkan dua terminologi

analisis, ialah balok T persegi dan balok T murni. Perbedaan antara keduanya disamping perbedaan bentuk blok tegangannya adalah bahwa pada balok T persegi dengan lebar flens efektif b dilakukan analisis dengan cara sama seperti balok persegi dengan lebar b (lebar flens). Dengan mengabaikan beton tertarik, sementara untuk balok T murni dilaksanakan dengan memperhitungkan blok tegangan tekan mencakup daerah kerja berbentuk huruf T.

Contoh Perhitungan

Balok T yang merupakan bagian dari suatu lantai dengan jarak spasi antarbalok 800 mm, b = 800mm, bw = 250 mm, hf = 50 mm, d = 300 mm, As = 3D29. Hitunglah kuat momen tahannan MR apabila fy = 400 MPa dan fc' = 20 MPa

Penyelesaian.

Gambar 2. Sketsa Contoh

Karena panjang bentangan tidak diketahui, lefar flens efektif ditentukan berdasarkan tebal flens dan jarak antara balok satu dengan lainnya.

$$Bw + 16\ hf = 250 + 16\ (50) = 1050\ mm$$

Jarak antara balok ke balok = 800 mm

Dengan demikian b yang digunakan = 800 mm

Dianggap bahwa tulangan baja tarik mencapai tegangan lelehnya, untuk kemudian menghitung N_T.

$$N_T = As\ fy = 1982\ (400)\ 10\text{-}3 = 792{,}8\ kN$$

Seandainya flens ditegangkan penuh seluruhnya hingga mencapai 0,85 fc' akan memberikan gaya tekan total :

$$N_D = (0{,}85\ fc')\ hf\ b = 0{,}85\ (20)\ (50)\ (800)\ 10\text{-}3 = 680\ kN$$

Karena 792,8 > 680, daerah blok tegangan tekan akan meliputi flens seluruhnya ditambah sebagian masuk ke daerah balok di bawah flens, dengan sisa gaya tekan yang bekerja adalah : N_D = 792,8 – 680 = 112,8 kN

Tampak bahwa daerah blok tegangan tekan masuk ke daerah balok di bawah flens, oleh karenanya dilakukan analisis balok T murni.

Sisa gaya tersebut di atas (N_T – N_D) bekerja di daerah badan balok di bawah flens.

$N_T - N_D = (0{,}85\ fc')\ bw\ (a - hf)$

Penyelesaian untuk a akan didapat:

$$a = \frac{N_T - N_D}{(0{,}85\ fc')\,bw + hf} = \frac{112{,}8}{0{,}85\,(20)\,(250) + 50} = 76{,}50\ mm$$

Pemeriksaan $\rho_{\min}$

$$\rho_{\min} = \frac{1{,}4}{fy} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$$

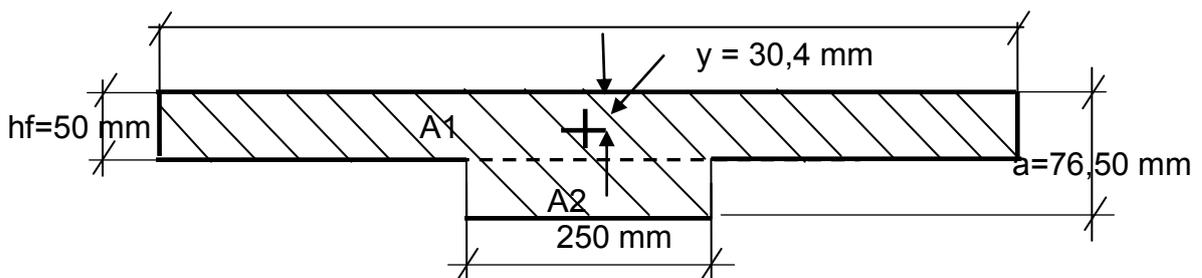
$$\rho_{faktual} = \frac{As}{bw\,d} = \frac{1982}{(250)(300)} = 0{,}0264 > 0{,}0035$$

Untuk menghitung besarnya kopel momen dalam, perlu diketahui terlebih dahulu jarak lengan antara gaya N_D dan N_T, kedudukan N_T adalah tepat pada titik pusat luas tulangan tarik sedangkan N_D pada titik pusat luasan daerah tekan. Dengan mengacu pada garis tepi sisi atas penampang, letak titik pusat luasan terhadap tepi atas dapat ditetapkan sebagai berikut;

$y = \frac{\Sigma(Ay)}{\Sigma A}$ dimana;

A1 = 800 (50) = 40000 mm2 dan A2 = 250 (26,5) = 6625 mm2

$$y = \frac{\Sigma(Ay)}{\Sigma A} = \frac{40000(25) + 6625(50 + 13{,}25)}{40000 + 6625} = 30{,}4\ mm$$

b = 800 mm

Gambar 3. Daerah Tekan Balok T

Dengan demikian kedudukan N_D telah ditentukan, maka lengan kopel momen adalah:

z = d – y = 300 – 30,4 = 269,6 mm

Momen tahanan dalam nominal (ideal) dapat ditentukan:

Mn =N_T (z) = 793,2 (0,2696) = 213,8 kNm

Dengan demikian momen tahanan Mr adalah:

Mr = Ø Mn = 0,8 (213,8) = 171 kNm

Selanjutnya dilakukan pemeriksaan anggapan bahwa penampang akan hancur daktail dimana tulangan baja akan meleleh terlebih dahulu.

Untuk balok T penyelesaiannya akan lebih mudah dengan cara membandingkan jumlah luas tulangan tarik aktual terhadap 75 % tulangan tarik perlu untuk mencapai keadaan seimbang (0,75 Asb).

Kedudukan garis neteral pada keadaan seimbang didapat sebagai berikut:

$$Cb = \frac{600}{fy + 600}(d) = \frac{600(300)}{400 + 600} = 180\ mm$$

Dengan menggunakan hubungan yang sudah dikenal pada balok persegi a = 0,85 fc' yang kurang lebih dapat juga diterapkan untuk balok T,

Ab = 0,85 (180) = 153 mm

Maka, gaya tekan total dalam keadaan seimbang N_{Db} adalah:

$$N_{Db} = 0{,}85\ fc'\{b(hf) + bw(ab - hf)\} = 0{,}85(20)\{800(50) + 250(153 - 50)\}(10)^{-3}$$

= 1117,75 kN = N_{Tb}

Juga dikarenakan N_{Tb} = Asb fy, maka:

$$A_{sb} = \frac{N_{Tb}}{fy} = \frac{1117{,}75}{400} = 2794\ mm^2$$

Yang mana adalah jumlah luas tulangan baja tarik yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan seimbang.

Sedangkan , As maks = 0,75 Asb = 0,75 (2794) = 2096 mm2 > 1983 mm2.

2) Tugas 2. Pembatasan Penulangan Tarik Balok T

Apabila diamati langkah-langkah analisis pada pemeriksaan hancur daktail, sebenarnya didasarkan atas hubungan-hubungan sebagai berikut:

a) $Cb = \frac{600}{fy + 600}(d)$

b) $a_b = 0{,}85\, Cb\,(\text{dimana} \quad \beta_1 = 0{,}85)$

c) N_{Db} = 0,85 fc' $\{b\, hf + b_w (a_b - hf)\}$

d) N_{Db} = N_{Tb} = Asb fy

e) As maks = 0,75 Asb

Untuk mencari As (maks) dengan kombonasi persamaan-persamaan di atas, didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$A_{s(maks)} = \frac{0{,}75\, N_{Db}}{fy}$$

$$= \frac{0{,}75}{fy}(0{,}85\, fc')\left[b\, h_f + \left\{\frac{\beta_1\, 600(d)}{600 + fy} - hf\right\} bw\right]$$

$$= \frac{0{,}638\, fc'\, hf}{fy}\left[b + bw\left\{\left(\frac{\beta_1}{hf}\right)\frac{600\, d}{600 + fy} - 1\right\}\right]$$

Daftar 3-1. Nilai $A_{s\,(maks)}$ untuk balok T

fc' (MPa)	fy (MPa)	$A_{s\,(maks)}$ (mm^2)	dimana:
17	240 300 350 400	0,0452K_1 0,0362K_2 0,0310K_3 0,0271K_4	$K_1 = h_f\left[b + b_w\left\{\frac{0{,}607\, d}{h_f}\right\} - b_w\right]$ $K_2 = h_f\left[b + b_w\left\{\frac{0{,}567\, d}{h_f}\right\} - b_w\right]$
20	240 300 350 400	0,0532K_1 0,0425K_2 0,0365K_3 0,0319K_4	$K_3 = h_f\left[b + b_w\left\{\frac{0{,}537\, d}{h_f}\right\} - b_w\right]$
25	240 300 350 400	0,0665K_1 0,0532K_2 0,0456K_3 0,0399K_4	$K_4 = h_f\left[b + b_w\left\{\frac{0{,}510\, d}{h_f}\right\} - b_w\right]$
30	240 300 350 400	0,0798K_1 0,0638K_2 0,0547K_3 0,0479K_4	$K_5 = h_f\left[b + b_w\left\{\frac{0{,}579\, d}{h_f}\right\} - b_w\right]$ $K_6 = h_f\left[b + b_w\left\{\frac{0{,}540\, d}{h_f}\right\} - b_w\right]$
35	240 300 350 400	0,0930K_1 0,0744K_2 0,0638K_3 0,0558K_4	$K_7 = h_f\left[b + b_w\left\{\frac{0{,}512\, d}{h_f}\right\} - b_w\right]$ $K_8 = h_f\left[b + b_w\left\{\frac{0{,}486\, d}{h_f}\right\} - b_w\right]$

Dengan memasukkan berbagai pasangan nilai kombinasi fc' dan fy, didapat nilai As (maks) dalam bentuk daftar yang diijinkan oleh peraturan:

$$A_{s(maks)} = 0{,}0319\ hf\left[b + bw\left\{\frac{0{,}51(d)}{hf}\right\} - bw\right]$$

$$= \frac{0{,}0319\ (50)}{fy}\left[800 + 250\left\{\left(\frac{0{,}51(300)}{50}\right) - 250\right\}\right] = 1{,}595(800 + 515)$$

= 2097 mm2 $\approx$ 2096 mm2

Nilai tersebut adalah luas penampang tulangan tarik yang diijinkan dipasang sehubungan dengan persyaratan daktilitas struktur. Karena nilainya masih lebih besar dari luas penampang tulangan aktual As terpasang (2097 > 1983), dijamin akan tercapai persyaratan hancur (daktail) sesuai dengan peraturan, Tampak bahwa nilai As (maks) yang didapat sebenarnya tidak berbeda jauh dengan nilai 0,75 Asb.

Contoh Perhitungan

Untuk balok T dengan spasi jarak 1500 mm, b = 250 mm, d = 610 mm, hf = 100 mm. Hitunglah kuat momen tahanan Mr, Bila f'c = 20 MPa, fy = 300 MPa, As = 6D29 (dua lapis). Panjang bentangan balok 8 m.

Penyelesaian.

Hitung besar flens efektif:

Seperempat panjang bentang = ¼ (8) = 2 m = 2000 mm

bw + 16 hf = 250 + 16 (100) = 1850 mm

Jarak antara balok ke balok = 1500 mm

Maka digunakan b = 1500 mm.

N_T = As fy = 3963 (300) 10^{-3} = 1189,8 kN

Berdasarkan luasnya, flens mampu menyediakan gaya tekan sebesar:

N_D = (0,85 fc') b hf = 0,85 (20) (1500) (100) $(10)^{-3}$ = 2550 kN

Karena 2550 > 1189,8 flens menyediakan daerah tekan cukup luas sedemikian blok tegangan tekan seluruhnya masih berada didalamnya. Maka balok berlaku sebagai balok T persegi dengan lebar b = 1500 mm.

Untuk balok demikian, meskipun untuk menentukan Mr dianggap sebagai balok T persegi, ada kemungkinan pada waktu dilakukan pemeriksaan As maksimum, balok tersebut berperilaku sebagai balok T murni pada keadaan seimbang.

Pemeriksaan $\rho_{\min}$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{300} = 0,0047$$

$$\rho_{faktual} = \frac{As}{bw\,d} = \frac{3963}{250\,(610)} = 0,0260 > 0,0047$$

Rasio penulangan $\rho_{faktual}$ yang akan digunakan untuk menghitung k,

$$\rho = \frac{As}{b\,d} = \frac{3963}{1500\,(610)} = 0,0043$$

Harap menjadi perhatian, dalam kasus ini diperlukan sikap hati-hati untuk tidak mencampur adukkan dua pengertian yang berbeda antara rasio penulangan aktual yang digunakan untuk menghitung kuat momen dan yang digunakan untuk membandingkannya dengan $\rho_{\min}$. Kedua rasio penulangan dihitung dengan cara dan penggunaan yang berbeda.

Dengan hasil $\rho = 0,0043$ digunakan Tabel A-15 untuk mendapatkan nilai k.

Dari tabel didapat k perlu = 1,2409 MPa

Mr = Ø b d^2 k = 0,8 (1500) (610)^2 (1,2409) (10)$^{-6}$ = 554,1 kNm

Periksalah daktilitas balok dengan membandingkan antara nilai As dengan As aktual

$$A_{s\,(maks)} = 0,0425\,h_f \left\{ b + b_w \left(\frac{0,567\,(d)}{h_f} - 1 \right) \right\}$$

$$= 0,0425\,(100) \left\{ 1500 + 250 \left(\frac{0,567\,(610)}{100} - 1 \right) \right\} = 8987\ mm^2$$

As aktual = 3963 mm2, karena 8987 > 3963 balok akan berperilaku daktail (liat) dan seperti anggapan pada awal perhitungan bahwa tulangan baja tarik sudah meleleh pada waktu terjadi momen batas (ultimit).

Berikut diberikan ikhtisar analisis penampang balok T terlentur, sebagai berikut:

(a) Tentukan lebar flens efektif menggunakan ketentuan SK SNI T-15-1991-03 fasal 3.1.10

(b) Gunakan anggapan bahwa tulangan baja tarik telah meleleh, untuk kemudian menghitung gaya tarik total, NT = As fy

(c) Hitung gaya tekan yang tersedia apabila hanya daerah flens saja yang menyediakan daerah tekan, ND = 0,85 fc’ b hf

(d) Apabila NT > ND, balok berperilakuk sebagai balok T murni dan selisih gaya tekan akan ditampung di sebagian daerah badan balok di bawah flens. Sedangkan bila NT < ND, balok berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar b, atau disebut balok T persegi.

(e) Apabila dihitung sebagai balok T murni, langkah selanjutnya adalah sebagai berikut:

(f) Tentukan letak batas tepi bawah balok tegangan tekan di daerah badan balok di bawah flens.

$$a = \frac{N_T - N_D}{(0{,}85 fc')b_w} + h_f$$

(g) Periksa $\rho_{\min}$

$$\rho_{\min} = \frac{1{,}4}{fy}\ dan\ \rho_{aktual} = \frac{A_s}{b_w\ d}$$

ρ_{aktual} harus lebih besar dari $\rho_{\min}$

(h) Tentukan letak titik pusat daerah tekan total dengan menggunakan hubungan atau persamaan sebagai berikut:

$y = \dfrac{\sum(Ay)}{\sum A}$, kemudian z = d - y

(i) Hitung momen tahanan, Mr = Ø N_D atau Ø N_T (z)

(j) Pemeriksaan persyaratan daktilitas menggunakan ungkapan As (maks) dari Daftar 3-1, As (maks) harus lebih besar dari As aktual

Sedangkan apabila dihitung sebagai balok T persegi, langkahnya adalah sebagai berikut:

(e) Periksa $\rho_{\min}$

$$\rho_{\min} = \frac{1{,}4}{fy}\ dan\ \rho_{aktual} = \frac{A_s}{b_w\ d}$$

ρ_{aktual} harus lebih besar dari $\rho_{\min}$

(f) Hitung rasio penulangan untuk kemudian menentukan k,

$$\rho = \frac{A_s}{b\ d}$$

(g) Mengacu pada tabel pada apendiks A, didapat nilai k yang diperlukan untuk nilai ρ yang didapat dari langkah (g)

(h) Hitung momen tahanan, Mr = Ø b d^2 k

(i) Pemeriksaan persyaratan daktilitas dengan menggunakan ungkapan As maks dari daftar 3-1, dimana As maks harus lebih besar dari As.

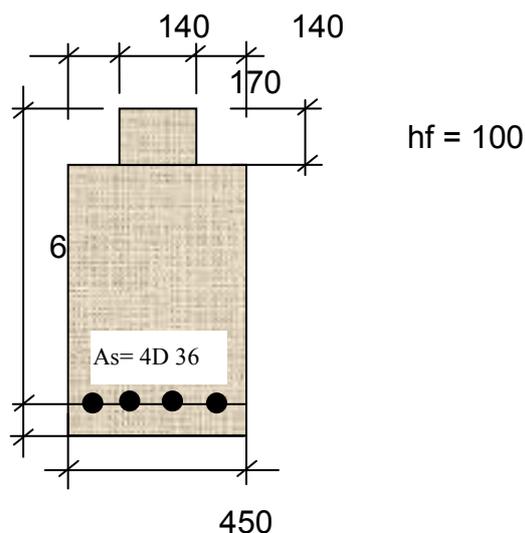
Apabila pemeriksaan batasan tulangan maksimum (langkah (9) menghasilkan As lebih besar dari As (maks) momen tahanan Mr dihitung dengan menggunakan As (maks) yang dalam hal ini disebut As efektif.

Analisis Balok Bukan Persegi Empat

Balok-balok dengan bentuk penampang selain persegi dan huruf T juga sering digunakan khususnya untuk struktur yang menggunakan sistem pracetak. Sistem pracetak membutuhkan ruang-ruang tertentu untuk mengatur penempatan dan keserasian antara komponen satu dengan lainnya. Pendekatan analisis sama dengan yang telah dibahas, yaitu didasarkan pada konsep kopel momen dalam, hanya saja bentuk blok tegangan beton tekan menyesuaikan dengan bentuk penampang balok. Sehingga pada prinsipnya metode analisis sama dengan yang digunakan pada balok T murni.

Contoh Perhitungan

Hitunglah kuat momen tahanan Mr untuk balok seperti gambar di bawah, lekukan yang tampak pada penampang balok kemungkinan disediakan untuk tempat menopang plat pracetak, fy = 300 MPa (mutu 30), fc' = 20 MPa.

Penyelesaian:

Gambar 4. Sketsa Contoh

Lebar flens efektif diperhitungkan 170 mm.

Anggaplah bahwa tulangan baja tarik akan meleleh, hitung N_T,

N_T = As fy = 4071,5 (300) 10^{-3} = 1221,4 kN

Hitung gaya tekan di daerah antara dua lekukan seluas 170 x 170 mm2

N_D = (0,85 fc') hf b = 0,85 (20) (100) (170) 10^{-3} = 289 kN

Karena 1221,4 > 289 maka blok tegangan tekan masih membutuhkan sebagian daerah di bawah lekukan untuk menampung selisih tegangan tekan yang besarnya adalah: 1221,4 – 289 = 932,4 kN

Selisih tegangan tekan tersebut akan dicakup oleh daerah tekan di bawah lekukan sedalam, (perhatikan gambar di bawah).

$$a = \frac{N_T - N_D}{(0{,}85\, f'c)b_w} + h_f = \frac{932{,}4(10)^3}{0{,}85(20)(450)} + 100 = 221{,}9\ mm$$ dari tepi atas balok

Pemeriksaan $\rho_{\min}$

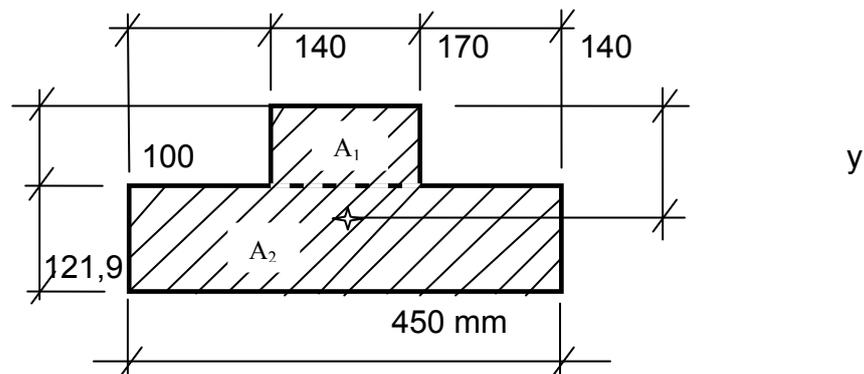
$$\rho_{\min} = \frac{1{,}4}{fy} = \frac{1{,}4}{300} = 0{,}0047$$

$$\rho_{aktual} = \frac{As}{b_w d} = \frac{4071{,}5}{(450)(610)} = 0{,}0148 \quad > \quad 0{,}0047$$

Tentukan kedudukan gaya tekan N_D pada titik berat daerah tekan, dan mengacu pada gambar di bawah, titik pusat tersebut terletak pada jarak y dari tepi atas penampang (garis acuan)

$$y = \frac{\sum(Ay)}{\sum A}$$ → A1 = 170 (100) = 17000 mm2

A2 = 121,9 (450) = 54855 mm2

$$y = \frac{17000\,(50) + 54855\ \left\{100 + \frac{1}{2}(121{,}9)\right\}}{40000 + 54855} 134{,}7\ mm$$

Gambar 5. Daerah Tekan (beton)

Dengan diperolehnya y tersebut, maka lengan momen z dihitung:

z = d – y = 610 – 134,7 = 475,3 mm

Menghitung kapasitas momen tahanan Mn, dan momen tahan Mr

Mn = Nt (z) = 1221,4 (0,4753) = 580,53 kNm

Mr = Ø Mn = 0,8 (580,53) = 464,42 kNm

Memeriksa persyaratan batas penulangan As (maks) (lihat Tabel 3-1)

$$As_{(maks)} = 0{,}0425\ h_f \left\{ b + b_w \left(\frac{0{,}567\ d}{h_f} - 1 \right) \right\}$$

$$= 0{,}0425\ (100) \left\{ 170 + 450 \left(\frac{0{,}567\ (610)}{100} - 1 \right) \right\}$$

= 5425 mm2 > 4071,5 mm2

Perhatikan, bahwa pada langkah terakhir, menggunakan persamaan dari tabel 3-1, dengan mengingat bahwa daerah tekan di atas lekukan bersifat dan dianggap berperilaku sama dengan flens balok T.

3) Tugas 3. Perencanaan Balok T

Dalam merencanakan balok T, pada langkah awal disarankan untuk menentukan apakah balok tersebut berperilaku sebagai balok T persegi atau balok T murni. Apabila ditentukan sebagai balok T persegi, maka prosedur perencanaan sama dengan yang dilakukan pada perencanaan balok persegi bertulangan tarik dengan ukuran-ukuran penampang yang telah diketahui. Sedangkan apabila sebagai balok T murni perencanaan dilakukan dengan cara perkiraan yang kemudian diikuti dengan analisis. Berdasarkan pada bentuknya, Umumnya flens menyediakan daerah tekan lebih dari cukup sehingga blok tegangan tekan seluruhnya terletak di dalam daerah flens. Sehingga hampir selalu dijumpai bahwa balok T umumnya dianalisis atau direncanakan sebagai balok T persegi.

Perencanaan balok T adalah proses menentukan dimensi tebal dan lebar flens, lebar dan tinggi efektif badan balok, dan luas tulangan baja tarik. Dalam perencanaan penampang balok T yang mendukung momen lentur positif umumnya sebagian dari kelima bilangan sudah diketahui terlebih dahulu. Penentuan tebal flens biasanya tidak lepas dari perencanaan struktur plat, sedangkan dimensi balok terkait dengan kebutuhan menahan gaya geser dan

momen lentur yang timbul pada tumpuan dan di tengah bentang struktur balok menenrus. Sedangkan untuk lebar flens efektif (b), seperti sudah dibahas pada bagian terdahulu, standar SK SNI T-15- 1991-03 memberikan batasan mengenai lebar tersebut. Keharusan untuk mempertimbangkan segi-segi pelaksanaan ataupun hubungan dengan komponen struktur lainnya mungkin juga mempengaruhi penentuan lebar badan balok, misalnya ukuran kolom ataupun sistem pelaksanaan pembuatan acuan (cetakan).

Contoh Perhitungan

Rencanakan balok T untuk sistem lantai dengan tebal plat lantai 100 mm ditumpu oleh balok-balok berjajar yang masing-masing berjarak 2 m dari sumbu ke sumbu, panjang bentangan balok 7 m, lebar balok bw = 300 mm, d = 480 mm, h = 550 mm, beton fc' = 20 MPa, fy = 400 MPa (mutu 40) Momen karena beban guna M_{DL} = 85 kNm (termasuk berat sistem lantai) dan M_{LL} = 170 kNm.

Peneyelesaian

Menentukan Momen rencana,

$$Mu = 1{,}2\ M_{DL} + 1{,}6\ M_{LL} = 1{,}2\ (85) + 1{,}6\ (170) = 374\ kNm$$

Menentukan tinggi efektif balok,

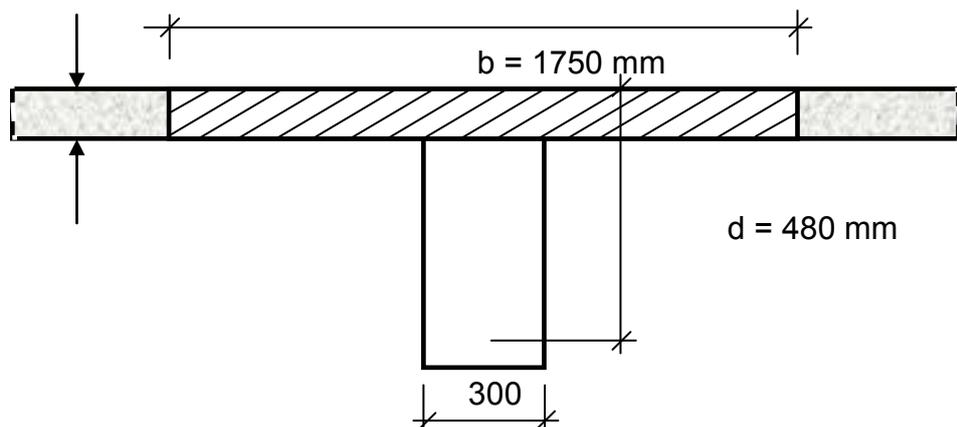
$$D = h - 70\ mm = 550 - 70 = 480\ mm$$

Lebar flens efektif,

Seperampat panjang bentangan = ¼ (7000) = 1750 mm

Bw + 16 hf = 300 + 16 (100) = 1900 mm

Jarak antar balok = 2000 mm

Gunakan lebar flens efektif b = 1750 mm

Gambar 6. balok T

Selanjutnya adalah menentukan apakah balok akan berperilaku sebagai balok T murni atau persegi dengan cara menghitung momen tahan Mr, dan dengan menganggap seluruh flens berada di daerah tekan. Dengan anggapan tersebut berarti dasar blok tegangan tekan berimpit dengan dasar flens seperti gambar di bawah.

Mr = Ø (0,85 fc') b hf)d – ½ hf)

= 0,8 (0,85) (20) (1750) (100) {480 – ½ (100)} $(10)^{-6}$

= 1023,4 kNm

Karena 1023,4 > 374, maka luasan flens efektif total tidak perlu seluruhnya sebagai daerah tekan dan dengan demikian balok T diperhitungkan perilaku sebagai balok persegi dengan lebar b = 1750 mm.

Rencanakan sebagai balok persegi dengan lebar b dan tinggi efektif d,

$$k_{perlu} = \frac{Mu}{\phi\, b\, d^2} = \frac{374\,(10)6}{0,8\,(1750)\,(480)^2} = 1,1595\ MPa$$

Dari tabel A-27, pilihlah rasio penulangan yang sesuai dengan nilai k = 1,1595 MPa, diperoleh : $\rho = 0,0030$

Sering terjadi bahwa nilai rasio penulangan balok T untuk kuat momen lebih rendah dari $\rho_{\min}$ tetapi masih dapat digunakan.

Hitung luas tulangan baja tarik yang dibutuhkan,

As = ρ b d = 0,0030 (1750) (480) = 2520 mm2

Kemudian memilih batang tulangan tarik, gunakan empat tulangan D29 (As = 2426 mm2)

bw minimum = 303 mm = 300 mm

Periksa d aktual

d = 550 – 40 – 10 – ½ (29) = 486 mm > 480 mm

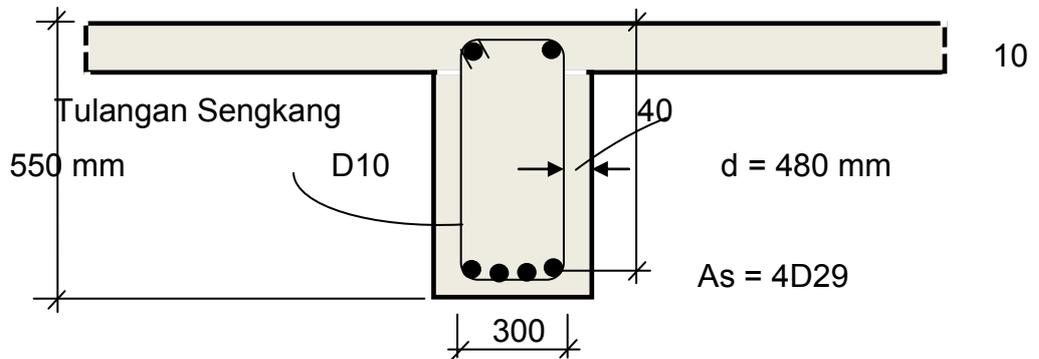
Periksa $\rho_{\min}$ dan As (maks)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{aktual} = \frac{As}{b_w\, d} = \frac{2642}{(300)\,(486)} = 0,0181 > 0,0035$$

$$A_{s\,(maks)} = 0{,}0319\; h_f \left\{ b + b_w \left(\frac{0{,}510\,(d)}{h_f} - 1 \right) \right\}$$

$$= 0{,}0319\,(100) \left\{ 1750 + 300 \left(\frac{0{,}510\,(486)}{100} - 1 \right) \right\}$$

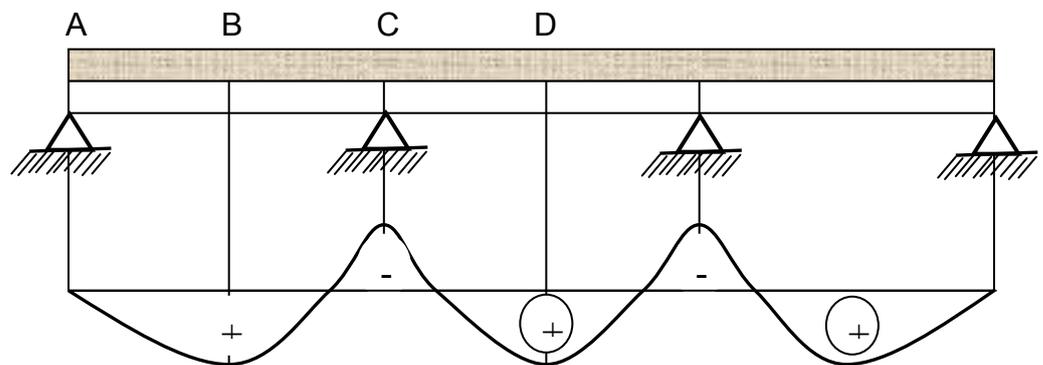
$$= 6997\; mm2 > 2642\; mm2$$

Gambar 7. Sketsa Perencanaan

4) Tugas 4. Balok Persegi Bertulangan Rangkap

Untuk suatu penampang komponen dengan kuat bahan tertentu, kuat momen atau momen tahanan maksimum dihitung dengan menggunakan nilai k yang sesuai dengan nilai ρ_{maks} yang bersangkutan. Seperti telah diketahui, nilai k merupakan fungsi dari rasio penulangan ρ, sedangkan batas ρ_{maks} untuk penampang balok beton bertulang bertulangan tarik saja telah ditetapkan, yaitu: $\rho_{maks} = 0{,}75\;\rho_b$.

Apabila penampang tersebut dikehendaki untuk mendukung beban yang lebih besar dari kapasitasnya, sedangkan di lain pihak seringkali pertimbangan teknis pelaksanaan dan arsitektural membatasi dimensi balok, maka diperlukan usaha-usaha lain untuk memperbesar kuat momen penampang balok yang sudah tertentu dimensinya tersebut. Bila hal demikian yang dihadapi, SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3 ayat 4 memperbolehkan penambahan tulangan baja tarik lebih dari batas nilai ρ_{maks} bersamaan dengan penambahan tulangan baja di daerah tekan penampang balok. Hasilnya adalah balok dengan penulangan rangkap dimana tulangan baja tarik dipasang di daerah tarik dan tulangan tekan di daerah tekan. Pada keadaan demikian berarti tulangan baja tekan bermanfaat untuk memperbesar kekuatan balok.

Akan tetapi, dari berbagai penggunaan tulangan tekan dengan tujuan untuk peningkatan kuat lentur suatu penampang terbukti merupakan cara yang kurang efisien terutama dari segi ekonomi baja tulangan dan pelaksanaannya dibandingkan dengan manfaat yang dapat dicapai. Dengan usaha mempertahankan dimensi balok tetap kecil pada umumnya akan mengundang masalah lendutan dan perlunya menambah jumlah tulangan geser pada daerah dekat tumpuan, sehingga akan memperrumit pelaksanaan pemasangannya. Penambahan penulangan tekan dengan tujuan utama untuk memperbesar kuat lentur penampang umumnya jarang dilakukan, kecuali apabila sangat terpaksa.

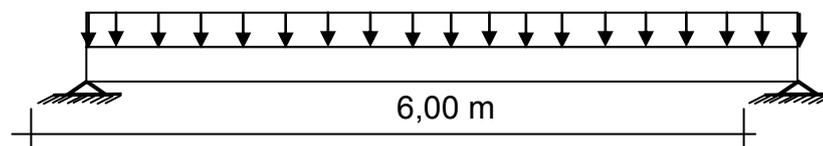
Untuk balok dari suatu struktur bentang menerus, penambahan dan pemasangan tulangan pokok di daerah tekan pada mulanya didasarkan pada pertimbangan teknis pelaksanaan sebagai alasan utamanya.

Gambar 8. Diagram Momen (+ dan -)

(a) Analisis Balok Terlentur Bertulangan Rangkap (Kondisi I)

Analisis lentur balok persegi bertulangan rangkap seperti dijelaskan dengan gambar di bawah, menyangkut penentuan kuat nominal lentur Mn suatu penampang dengan nilai-nilai b, d, d', As, As', fc' dan fy yang sudah tertentu. Anggapan-anggapan dasar yang digunakan untuk analisis balok beton bertulangan rangkap pada dasarnya sama dengan balok bertulangan tarik saja. Hanya ada satu tambahan anggapan yang penting ialah bahwa tegangan tulangan baja tekan (fs') merupakan fungsi dari regangannya tepat pada titik berat tulangan baja tekan. Seperti pembahasan terdahulu, tulangan baja berperilaku elastik hanya

sampai pada tingkat dimana regangnnya mencapai leleh (ε_y). Dengan kata lain , apabila regangan tekan baja (ε_s')sama atau lebih besar dari regangan lelehnya (ε_y) maka sebagai batas maksimum tegangan tekan baja (fs,) diambil sama dengan tegangan lelehnya (fy).

Contoh Perhitungan

Diketahui balok penampang persegi ukuran 300 mm x 500 mm bentang 6 meter berada di atas dua tumpuan. Mutu baja fy = 400 MPa, mutu beton fc' = 20 MPa. Beban hidup yang bekerja = 50 kN/m. Tentukan penulangan balok tersebut ?.

Gambar 9. Balok dengan Beban Merata

Penyelesaian:

Beban mati = 0.3 (0.50 (2.3) (2.3 kN) = 3.45 kN/m

Beban hidup = 50 kN/m

Qu = 1.2 DL + 1.6 LL

= 1.2 (3.45) + 1.6 (50)

= 84.14 kN/m

M lapangan = 1/8 (84.14) (6) (6) = 378.63 kNm

Langkah perhitungan :

1) Tentukan ρmax untuk tulangan tunggal :

$$\rho_{max} = 0.75 \times \frac{0.00255.\beta 1.f'c}{fy(0.003 + fy/200000}$$

$$= 0.75 \times \frac{0.00255(0.85)(20)}{400(0.003 + 400/200000}$$

$$= 0.016256$$

2) Tentukan ρ_{min} :

ρ_{min} = 1.4/fy = 1.4/400 = 0.0035

3) Tentukan ρ :

$$\rho = \frac{fy - \sqrt{fy^2 - 2Ru/\phi.m.fy}}{m.fy}$$

dimana

Ru = Mu/(bd)

$$= \frac{378.63(10000000)}{(300)(450)(450)} = 6.2325$$

$$m = \frac{fy}{0.85f'c} = \frac{400}{0.85(20)} = 23.529$$

$$\rho = \frac{400 - \sqrt{400^2 - 2(6.2325)/0.8.(23.529)(400)}}{(23.529)(400)} = 0.0302$$

Karena ρ (=0.0302) < ρmax (=0.01626) maka pasang tulangan rangkap

4) Tentukan Mu1 yang dapat dipikul tulangan maximum (ρmax = 0.01626)

   Mu1 = φ. ρ1.b.d.d.fy (1-0.5. ρ1.m)

   = 0.8 (0.01626) (300) (450) (400) (1-0.5(0.01626) (23.529))

   = 255628458.8 Nmm = 255.63 kNm

   As1 = ρ1.b.d = 0.01626 (300) (450) = 2195.1 mm^2

5) Tentukan Mu_{sisa} = Mu – Mu1 = 378.63 – 255.63 = 123 kNm

6) Mu sisa dipikul oleh momen kopel akibat tulangan tarik tambahan dan tulangan tekan.

   Cek dulu apakah tulangan tekan sudah/belum leleh :

   Syarat tulangan tekan sudah leleh :

$$(\rho - \rho') \overset{?}{>=} \frac{0.85.f'c.\beta1.d'}{fy.d} \cdot \frac{600}{600 - fy}$$

$$\beta1 \overset{?}{>=} \frac{0.85(20)(0.85)(50)}{400(450)} \frac{600}{600 - 400}$$

   $0.01626 \overset{?}{>} = 0.01204$

   Karena 0.01626 > 0.01204 → tulangan tekan sudah leleh

   Jadi f's = fy = 40 MPa

$$A's = As^2 = \frac{Mu_{sisa}}{\phi.fs(d - d')}$$

$$= \frac{123(1000000)}{0.8(400)(450 - 50)} = 960.38 \text{ mm}^2$$

Jadi As = 2195.1 + 960.38 = 3155.48 mm^2

Tulangan terpasang :

Tulangan tarik : diameter = 25 mm

luas tulangan hasil perhitungan = 3155.48 mm^2

jumlah = (3155.48)/(22/7)(0.25)(25) (25) = 6.4 pakai 7

luas tulangan tarik terpasang = 7 (22/7*0.25*25*25) = 3437.5 mm^2

Tulangan tekan : diameter = 25 mm

luas tulangan hasil perhitungan = 960.38 mm^2

jumlah = 960.38/ (22/7*0.25*25*25) = 1.955 pakai 2

luas tulangan tekan terpasang = 2 (22/7*0.25*25*25) = 982.1 mm^2

Jadi pasang 7D25 untuk tulangan tarik dan 2 D25 untuk tulangan tekan.

7) Cek terhadap ρmax tulangan rangkap :

ρmax = 0.75 ρb + ρ'.f's/fy = 0.01626 + (982.1/(300)(450).400/400

= 0.02353

ρ = 3437.5/ (300.450) = 0.02546

ρ (=0.02546) > ρmax (=0.02353), seharusnya penampang diperbesar, tetapi karena selisihnya sedikit maka tidak ada masalah.

8) Menentukan Mu yang dapat dipikul tulangan rangkap :

➢ Tentukan nilai a :

As = 3437.5 mm^2

A's = 960.38 mm^2

$$a = \frac{As.fy - A's.f's}{0.85f'c.b} = \frac{3437.6(400) - 960.38(400)}{0.85(20)(300)}$$

Menentukan nilai Mu

Mu = ϕ((As.fy-A's.f's) (d-a/2) + A's.f's (d-d'))

= 0.8((3437.5(400) – 960.38 (400)) (450-194.28/2 + 960.38 (400) (450-50))

= 402633140 Nmm

= 402.633 kNm > Mu bekerja = 378.63 kNm → OK

c. Rangkuman

1) Lebar flens efektif yang diperhitungkan tidak lebih dari seperampat panjang bentang balok, sedangkan lebar efektif bagian plat yang menonjol di kedua sisi dari balok tidak lebih dari delapan kali tebal plat, dan juga tidak lebih besar dari separoh jarak bersih dengan balok disebelahnya. Atau dengan kata lain, lebar flens efektif yang diperhitungkan tidak lebih besar dan diambil nilai terkecil dari nilai-nilai berikut;
   - seperampat panjang bentang balok
   - bw + 1/6 hf
   - jarak dari pusat ke pusat antar balok
2) Untuk balok yang hanya mempunyai flens pada satu sisi, lebar efektif bagian plat yang menonjol yang diperhitungkan tidak lebih besar dari seper duabelas (1/12) panjang bentangan balok, atau enam kali tebal plat, atau ½ jarak bersih dengan balok disebelahnya.
3) Untuk balok yang khusus dibentuk sebagai balok T dengan maksud untuk mendapatkan tambahan luas daerah tekan, ketebalan flens tidak boleh lebih besar dari separoh lebar balok, dan lebar flens total tidak boleh lebih besar dari empat kali lebih lebar balok.

d. Tugas

1) Balok T yang merupakan bagian dari suatu lantai dengan jarak spasi antarbalok 800 mm, b = 800mm, bw = 250 mm, hf = 50 mm, d = 300 mm, As = 3D29. Hitunglah kuat momen tahannan MR apabila fy = 400 MPa dan fc' = 20 Mpa
2) Rencanakan balok T untuk sistem lantai dengan tebal plat lantai 100 mm ditumpu oleh balok-balok berjajar yang masing-masing berjarak 2 m dari sumbu ke sumbu, panjang bentangan balok 7 m, lebar balok bw = 300 mm, d = 480 mm, h = 550 mm, beton fc' = 25 MPa, fy = 400 MPa (mutu 40) Momen karena beban guna M_{DL} = 85 kNm (termasuk berat sistem lantai) dan M_{LL} = 170 kNm.

e. Tes Formatif

Selesaikanlah soal di bawah ini dengan ringkas dan jelas, anda diperkenankan untuk membuka buku, tetapi tidak boleh bekerja sama dengan teman-teman anda dan jangan menggangu orang lain.

1) Jelaskan pembatasan lebar flens efektif balok T Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03
2) Uraikan Tahapan analisis penampang balok T terlentur sesuai dengan ketentuan SK SN T-15-1991-03
3) Bila perhitungan balok sebagai balok T persegi (bukan balok T murni) jelaskan tahanpan selanjutnya, setelah tahapan pada soal nomor 2. Di atas.
4) Untuk balok T dengan spasi jarak 1500 mm, b = 250 mm, d = 610 mm, hf = 100 mm. Hitunglah kuat momen tahanan Mr, Bila f'c = 20 MPa, fy = 300 MPa, As = 6D29 (dua lapis). Panjang bentangan balok 8 m.

f. Kunci Jawaban Tes Formatif

1) Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 pembatasan lebar flens efektif balok T adalah sebagai berikut:

   a) Lebar flens efektif yang diperhitungkan tidak lebih dari seperampat panjang bentang balok, sedangkan lebar efektif bagian plat yang menonjol di kedua sisi dari balok tidak lebih dari delapan kali tebal plat, dan juga tidak lebih besar dari separoh jarak bersih dengan balok disebelahnya. Atau dengan kata lain, lebar flens efektif yang diperhitungkan tidak lebih besar dan diambil nilai terkecil dari nilai-nilai berikut;

      - seperampat panjang bentang balok
      - bw + 1/6 hf
      - jarak dari pusat ke pusat antar balok

   2. Untuk balok yang hanya mempunyai flens pada satu sisi, lebar efektif bagian plat yang menonjol yang diperhitungkan tidak lebih besar dari seper duabelas (1/12) panjang bentangan balok, atau enam kali tebal plat, atau ½ jarak bersih dengan balok disebelahnya.

3. Untuk balok yang khusus dibentuk sebagai balok T dengan maksud untuk mendapatkan tambahan luas daerah tekan, ketebalan flens tidak boleh lebih besar dari separoh lebar balok, dan lebar flens total tidak boleh lebih besar dari empat kali lebih lebar balok.

3.2 Tahapan analisis penampang balok T terlentur sesuai dengan ketentuan SK SN T-15-1991-03 adalah sebagai berikut:

1. Tentukan lebar flens efektif menggunakan ketentuan SK SNI T-15-1991-03 fasal 3.1.10
2. Gunakan anggapan bahwa tulangan baja tarik telah meleleh, untuk kemudian menghitung gaya tarik total, NT = As fy
3. Hitung gaya tekan yang tersedia apabila hanya daerah flens saja yang menyediakan daerah tekan, ND = 0,85 fc' b hf
4. Apabila NT > ND, balok berperilakuk sebagai balok T murni dan selisih gaya tekan akan ditampung di sebagian daerah badan balok di bawah flens. Sedangkan bila NT < ND, balok berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar b, atau disebut balok T persegi.

3.3 Apabila dihitung sebagai balok T persegi, langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Periksa $\rho_{\min}$

   $$\rho_{\min} = \frac{1{,}4}{fy} \; dan \; \rho_{aktual} = \frac{A_s}{b_w\, d}$$

   ρ_{aktual} harus lebih besar dari $\rho_{\min}$

2. Hitung rasio penulangan untuk kemudian menentukan k,

   $$\rho = \frac{A_s}{b\, d}$$

3. Mengacu pada tabel pada apendiks A, didapat nilai k yang diperlukan untuk nilai ρ yang didapat dari langkah
   - Periksa $\rho_{\min}$
   - $\rho_{\min} = \frac{1{,}4}{fy} \; dan \; \rho_{aktual} = \frac{A_s}{b_w\, d}$
   - ρ_{aktual} harus lebih besar dari $\rho_{\min}$

4. Hitung momen tahanan, Mr = Ø b d^2 k
5. Pemeriksaan persyaratan daktilitas dengan menggunakan ungkapan As maks dari daftar 3-1, dimana As maks harus lebih besar dari As.

Apabila pemeriksaan batasan tulangan maksimum (langkah e)) menghasilkan As lebih besar dari As (maks) momen tahanan Mr dihitung dengan menggunakan As (maks) yang dalam hal ini disebut As efektif.

3.4 Penyelesaian.

Hitung besar flens efektif:

Seperempat panjang bentang = ¼ (8) = 2 m = 2000 mm

bw + 16 hf = 250 + 16 (100) = 1850 mm

Jarak antara balok ke balok = 1500 mm

Maka digunakan b = 1500 mm.

N_T = As fy = 3963 (300) 10^{-3} = 1189,8 kN

Berdasarkan luasnya, flens mampu menyediakan gaya tekan sebesar:

N_D = (0,85 fc') b hf = 0,85 (20) (1500) (100) $(10)^{-3}$ = 2550 kN

Karena 2550 > 1189,8 flens menyediakan daerah tekan cukup luas sedemikian blok tegangan tekan seluruhnya masih berada didalamnya. Maka balok berlaku sebagai balok T persegi dengan lebar b = 1500 mm. Untuk balok demikian, meskipun untuk menentukan Mr dianggap sebagai balok T persegi, ada kemungkinan pada waktu dilakukan pemeriksaan As maksimum, balok tersebut berperilaku sebagai balok T murni pada keadaan seimbang.

Pemeriksaan $\rho_{\min}$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{300} = 0,0047$$

$$\rho_{faktual} = \frac{As}{bw\,d} = \frac{3963}{250\,(610)} = 0,0260 > 0,0047$$

Rasio penulangan $\rho_{faktual}$yang akan digunakan untuk menghitung k,

$$\rho = \frac{As}{b\,d} = \frac{3963}{1500\,(610)} = 0,0043$$

Harap menjadi perhatian, dalam kasus ini diperlukan sikap hati-hati untuk tidak mencampur adukkan dua pengertian yang berbeda antara rasio

penulangan aktual yang digunakan untuk menghitung kuat momen dan yang digunakan untuk membandingkannya dengan $\rho_{\min}$. Kedua rasio penulangan dihitung dengan cara dan penggunaan yang berbeda.

Dengan hasil $\rho = 0{,}0043$ digunakan Tabel A-15 untuk mendapatkan nilai k.

Dari tabel didapat k perlu = 1,2409 MPa

Mr = Ø b d^2 k = 0,8 (1500) (610)^2 (1,2409) (10)$^{-6}$ = 554,1 kNm

Periksalah daktilitas balok dengan membandingkan antara nilai As dengan As aktual

$$A_{s\,(maks)} = 0{,}0425\, h_f \left\{ b + b_w \left(\frac{0{,}567(d)}{h_f} - 1 \right) \right\}$$

$$= 0{,}0425\,(100) \left\{ 1500 + 250 \left(\frac{0{,}567(610)}{100} - 1 \right) \right\} = 8987\ mm^2$$

As aktual = 3963 mm2, karena 8987 > 3963 balok akan berperilaku daktail (liat) dan seperti anggapan pada awal perhitungan bahwa tulangan baja tarik sudah meleleh pada waktu terjadi momen batas (ultimit).

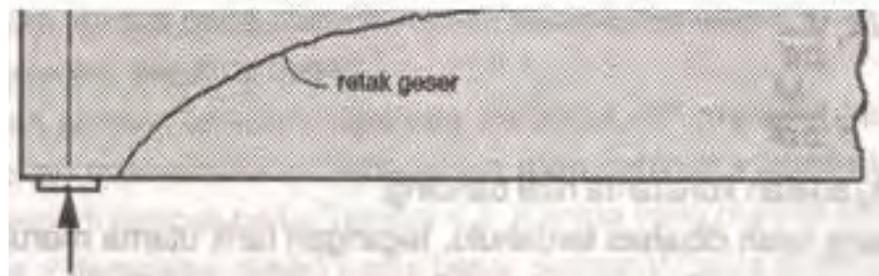
1. KEGIATAN BELAJAR 2. PENULANGAN GESER BALOK TERLENTUR

a. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari unit ini, peserta didik/siswa diharapkan dapat :

- Menjelaskan pengertian kuat geser pada beton bertulangan sesuai dengan SK SNI
- Menjelaskan perilaku balok tanpa penulangan geser sesuai dengan SK SNI
- Menjelaskan dasar perencanaan penulangan geser sesuai dengan SK SNI

b. Uraian Materi

Perhatikan gambar di bawah ini, cermatilah balok beton yang mengalami retak atau disebut retak geser. Seperti telah dijelaskan pada kelas XI semester I, bahwa beton kuat tehadap gaya tekan tetapi lemah terhadap gaya tarik. Menurut anda, mengapa retak geser terjadi di daerah tumpuan, (seperti gambar) ?. Anda boleh mendiskusikannya dengan teman saudara atau mencari referensi sehingga anda lebih memahaminya.

Gambar 10. Balok Beton Yang Retak Geser

1) Tugas 1. Kuat Geser

Tegangan geser dan lentur akan timbul di sepanjang komponen struktur dimana bekerja gaya geser dan momen lentur, dan penampang komponen mengalami tegangan-tegangan tersebut pada tempat-tempat selain di garis netral dan serat tepi penampang. Komposisi tegangan-tegangan tersebut di suatu tempat akan menyesuaikan diri secara alami dengan membentuk keseimbangan tegangan geser dan tegangan normal maksimum dalam satu bidang yang membentuk sudut kemiringan terhadap sumbu balok. Dengan menggunakan *lingkaran Mohr* dapat ditunjukkan bahwa tegangan normal maksimum dan minimum akan bekerja pada dua bidang yang saling tegak lurus satu sama lainnya. Bidang-bidang

tersebut dinamakan *bidang utama* dan tegangan-tegangan yang bekerja disebut *tegangan-tegangan utama.*

Persamaan yang umumnya digunakan untuk mengungkapkan tegangan lentur dan tegangan geser adalah:

$$f = \frac{Mc}{I} \quad dan \quad v = \frac{V\ S}{I\ b}$$

dimana :

f = tegangan lentur

M = momen yang bekerja pada balok

c = jarak serat terluar terhadap garis neteral, baik di daerah tekan maupun tarik

I = momen inersia penampang balok terhadap garis neteral

v = tegangan geser

V = gaya geser akibat beban luar

S = momen static terhadap garis neteral penampang

b = lebar penampang

Tegangan-tegangan utama pada balok yang mendukung gaya geser dan momen lentur dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$f_{pr} = \frac{f}{2} \pm \sqrt{\frac{f^2}{4} + v^2}$$

dimana:

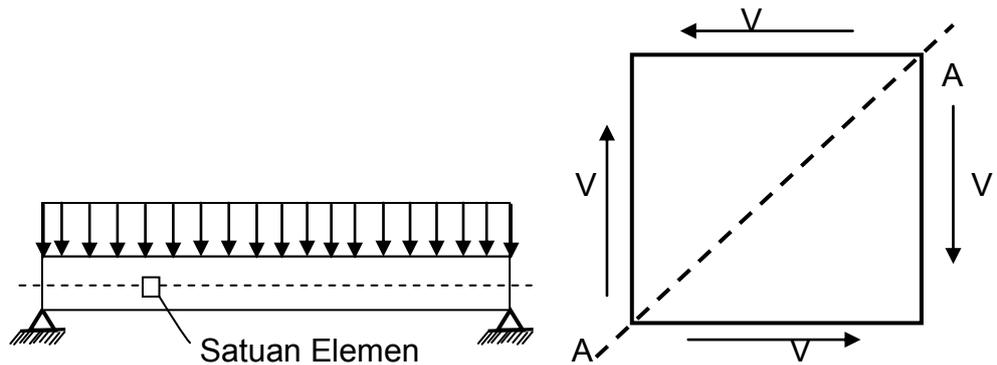
f_{pr} = tegangan utama

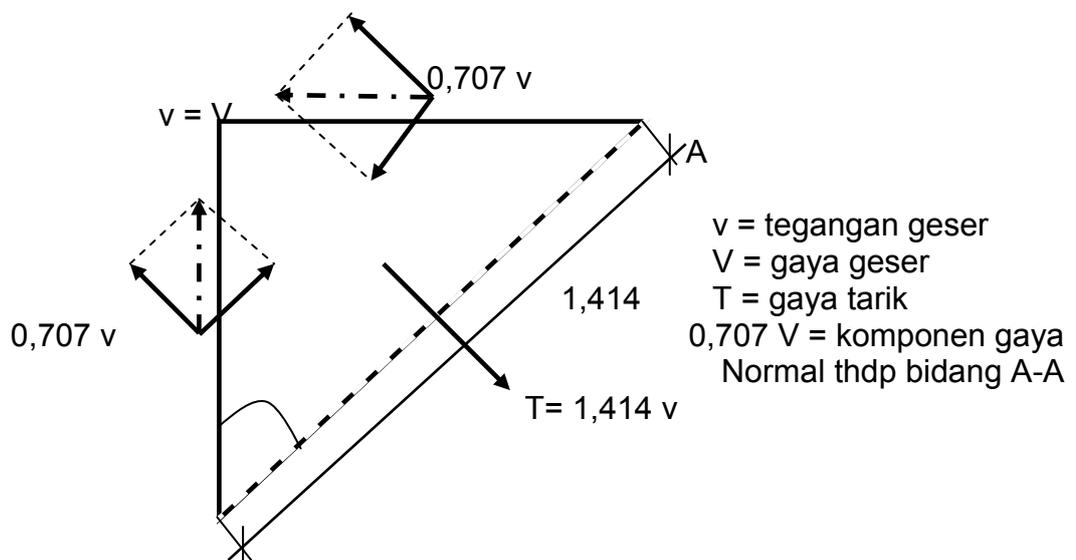
F = tegangan lentur

v = tegangan geser yang dihitung dari persamaan $f = \frac{Mc}{I} \quad dan \quad v = \frac{Vs}{I\ b}$.

Arah atau orientasi bidang utama dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut: $\tan 2\alpha = \frac{2\ v}{f}$ dimana a adalah sudut yang diukur dan garis horizontal.

Mengenai seberapa besar tegangan geser dan lentur yang timbul bervariasi tergantung dan letak tempat yang ditinjau di sepanjang balok dan jaraknya terhadap garis netral. Dengan demikian sudut kemiringan dan besarnya tegangan utama juga akan bervariasi pula dan merupakan fungsi dan nilai

banding antara f dan *v.* Tepat pada garis netral akan terjadi tegangan utama dengan membentuk sudut 45$^{\mathbf{0}}$ yang dapat dijelaskan menggunakan rumus : $\tan 2\alpha = \frac{2v}{f}$ yang mana apabila dimasukkan nilai f=0, maka $\tan 2\alpha = \infty$, sehingga didapat $\alpha = 45^o$. Seperti tampak pada Gambar di bawah, dilakukan pengamatan suatu satuan elemen kubus tepat pada ganis netral balok di mana *f* = 0.

Gambar 11. Balok Beban Merata & Tegangan

Berdasarkan prinsip keseimbangan, tegangan geser vertikal pada dua muka vertikal berseberangan akan sama besar tetapi arah kerjanya benlawanan. Apabila hanya kedua tegangan tersebut yang timbul dan bekerja dapat dipastikan bahwa elemen akan berputar. Maka dari itu, untuk mempertahanikan ke seimbangan harus ada tegangan geser yang bekerja pada permukaan horizontal yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan terhadap tegangan geser vertikal.

Gambar 12. Tarik diagonal karena geser

Apabila satuan elemen tersebut dipotong bersudut 45^0 menurut bidang A-A, tegangan-tegangan akan menyesuaikan sedemikian rupa sehingga keseimbangan gaya gaya digambarkan seperti tampak pada Gambar di bawah.

Karena yang diamati adalah suatu satuan luas maka besar *v* (tegangan geser) sama besar dengan *V* (gaya geser). Dalam kondisi seimbang, apabila seluruh gaya-gaya yang tegak lurus terhadap bidang A-A dijumlahkan (*F*=0) didapatkan:

0,70 V + 0,707 V = T.

Dengan berdasarkan pada, *gaya = luas x tegangan,* persamaan keseimbangan gaya tarsebut di atas dapat dituliskan sebagai berikut: O,707v(1) **+** O,707v(1) = t(1,414)

Dimana: t = tegangan tarik

1,414 v = t (1,414) → v = t

Dari persamaan $f_{pr} = \frac{f}{2} \pm \sqrt{\frac{f^2}{4} + v^2}$ didapat $f_{pr} = \sqrt{v^2} \pm v$

Hal demikian menunjukkan bahwa pada bidang yang tegak lurus bidang A-A juga timbul tegangan tekan sebesar *v.* Selain itu, ternyata pula bahwa dengan bekerjanya gaya gesar pada balok akan menimbulkan tegangan tarik di tempat garis netral dengan arah kerja membentuk sudut 45^0 terhadap garis horizontal. Tegangan tarik tersebut sama besarnya dengan tegangan geser, dan pada perencanaan ataupun analisis diperhitungkan sebaga gaya tarik diagonal yang pada intensitas tertentu dapat mengakibatkan timbulnya retak miring pada beton.

Dengan demikian, permulaan dan perkembangan retak miring tergantung pada besarnya tegangan geser v dan tegangan lentur *f.* Berdasarkan pengembangan persamaan $f = \frac{Mc}{I} \quad dan \quad v = \frac{Vs}{I\,b}$ tegangan-tegangan penentu ini dinyatakan sebagai:

$v = k_1 \frac{V}{b\,d}$ dan $f = k_2 \frac{M}{b\,d^2}$ dimana *k,* dan *k2* adalah konstanta nilal banding. Seperti yang telah dibahas terdahulu, tegangan tarik utama

merupakan fungsi perbandingan *f* terhadap *v,* sehingga berdasarkan persamaan di atas didapat hubungan sebagai berikut:

$\frac{f}{v} = \frac{k_2\ M}{k_1\ V\ d} = k_3 \frac{M}{V\ d}$ apabila *bentang geser:* $a = \frac{M}{V}$, akan didapat $\frac{f}{v} = k_3 \frac{a}{d}$. Dari berbagai hasil eksperimen didapatkan bahwa nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif *(d)* temyata merupakan faktor yang berpengaruh dan menempati posisi panting dalam penetapan kekuatan geser suatu balok. Apabila faktor-faktor selain *a/d* diambil tetap maka vanasi kapasitas geser untuk seluruh panjang balok dapat ditetapkan pula.

2) Tugas 2. Perilaku Balok Tanpa Penulangan Geser.

Seperti yang telah dinyatakan terdahulu bahwa tegangan tarik dengan variasi besar dan kemiringan, baik sebagai akibat geser saja atau gabungan dengan lentur, akan timbul di setiap tempat di sepanjang balok, yang harus diperhitungkan pada analisis dan perencanaan. Pembahasan dalam bagian terdahulu, sebenarnya merupakan deskripsi tepat untuk kejadian geser pada balok beton tanpa tulangan, di mana kerusakan umumnya akan terjadi di daerah sepanjang kurang lebih tiga kali tinggi efektif balok, dan dinamakan bentang geser. Seperti tampak pada gambar di bawah, retak akibat tarik diagonal merupakan salah satu cara terjadinya kerusakan geser. Untuk bentang geser yang lebih pendek, kerusakan akan timbul sebagai kombinasi dan pergeseran, remuk, dan belah. Sedangkan untuk balok beton tanpa tulangan dengan bentang geser lebih panjang, retak karena tegangan tarik lentur akan terjadi terlebih dahulu sebelum timbul retak karena tarik diagonal. Dengan demikian terjadinya retak tarik lenturan pada balok tanpa tulangan merupakan peringatan awal kerusakan geser.

Retak miring akibat geser di badan balok baton bertulang dapat terjadi tanpa disertai retak akibat lentur di sekitarnya, atau dapat juga sebagai kelanjutan proses retak lentur yang telah mendahuluinya. Retak miring pada balok yang sebelumnya tidak mengalami retak lentur dinamakan sebagal retak geser badan. Kejadian retak geser badan jarang dijumpai

pada balok beton bertulang biasa dan lebih sering dijumpai pada balok beton prategangan.

Mekanisme perlawanan geser di dalam komponen struktur beton bertulang tidak terlepas dari pengaruh serta tersusun sebagai kombinasi beberapa kejadian atau mekanisme sebagai berikut:

a) Adanya perlawanan geser beton sebelum terjadi retak.
b) Adanya gaya ikatan antar-agregat (pelimpahan geser antar-permukaan butir) ke arah tangensial di sepanjang retakan, yang serupa dengan gaya gesek akibat saling ikat antar agregat yang tidak teratur di sepanjang permukaan beton kasar.
c) Timbulnya aksi pasak tulangan memanjang sebagai perlawanan terhadap gaya transversal yang harus ditahan.
d) Terjadinya perilaku pelengkung pada balok yang relatif tinggi, dimana segera setelah terjadi retak miring, beban dipikul oleh susunan reaksi gaya tekan yang membentuk busur melengkung dengan pengikatnya (tali busur) adalah gaya tarik di sepanjang tulangan memanjang yang ternyata memberikan cadangan kapasitas cukup tinggi,
e) Adanya perlawanan penulangan geser yang berupa sengkang vertikal ataupun miring (untuk balok bertulangan geser).

Dalam rangka usaha mengetahui distribusi tegangan geser yang sebenarnya terjadi di sepanjang bentang dan kedalaman penampang balok, meskipun studi dan penelitian telah dilakukan secara luas untuk kurun waktu cukup lama, mekanisme kerusakan geser yang tepat sebetulnya masih juga belum dikuasai sepenuhnya. Untuk menentukan seberapa besar tegangan geser tersebut, umumnya peraturan-peraturan yang ada memberikan rekomendasi untuk menggunakan pedoman perencanaan berdasarkan nilai tegangan geser rata-rata nominal sebagai benikut:

$$vu = \frac{Vu}{\phi\, b_w\, d}$$ dimana :

vu = tegangan geser rencana rata-rata nominal total (MPa)

Vu = gaya geser rencana total karena beban luar (kN),

ϕ, = faktor reduksi kuat bahan (untuk geser 0,60),

Bw = lebar balok, untuk penampang persegi = b (cm),

d = tinggi efektif balok (cm).

Seperti yang telah dikemukakan bahwa di tempat garis netral penampang, nilai tegangan geser sama dengan tegangan tarik diagonal. Maka untuk kepentingan pendek atan perencanaan, ditetapkan bahwa tegangan geser dapat dipakai sebagai alat ukur yang baik untuk mengukur tegangan tarik diagonal yang terjadi, meskipun sesungguhnya bukanlah tegangan tarik diagonal aktual.

Walaupun teori umum perencanaan geser yang dipakai sebagai dasar peraturan dan persyaratan belum diubah, SK SNI T-15-1991-03 mmbenikan rokomendasi bahwa perencanaan geser dapat didasarkan pada gaya geser Vu, yang bekerja pada penampang balok. Hal demikian berbeda dengan peraturan-peraturan sebelumnya, PBI 1971 dan sebelumnya, yang mendasarkan pada tegangan geser. Sehingga tidak jarang terjadi penafsiran bahwa gaya geser, sama seperti halnya tegangan geser, secara umum dapat berlaku sebagal alat pengukur tarik diagonal yang timbul.

3) Tugas 3. Perencanaan Penulangan Geser

Dasar pemikiran perencanaan penulangan geser atau penulangan geser badan balok adalah usaha menyediakan sejumlah tulangan baja untuk menahan gaya tarik arah tegak lurus terhadap retak tarik diagonal sedemikian rupa sehingga mampu mencegah bukaan retak lebih lanjut. Berdasarkan atas pemikiran tersebut dan juga dengan memperhatikan pola retak seperti tergambar pada Gambar di bawah, penulangan geser dapat dilakukan dalam beberapa cara, seperti: (1) sengkang vertikal, (2) jaringan kawat baja las yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial, (3) sengkang miring atau diagonal, (4) batang tulangan miring diagonal yang dapat dilakukan dengan cara membengkok batang tulangan pokok balok di tempat-tempat yang diperlukan, atau (5) tulangan spiral. Perencanaan geser untuk komponen-komponen struktur terlentur didasarkan pada anggapan bahwa beton menahan sebagian dan gaya geser, sedangkan kelebihannya atau kekuatan geser di atas kemampuan beton untuk menahannya dilimpahkan kepada tulangan baja geser. Cara yang umum dilaksanakan dan lebih sering dipakai untuk penulangan geser ialah dengan menggunakan sengkang, di mana selain pelaksanaannya

lebih mudah juga menjamin ketepatan pemasangannya. Penulangan dengan sengkang hanya memberikan andil terhadap sebagian pertahanan geser, karena formasi atau arah retak yang miring. Tetapi bagaimanapun, cara penulangan demikian terbukti mampu memberikan sumbangan untuk peningkatan kuat geser ultimit komponen struktur yang mengalami lenturan. Untuk komponen-komponen struktur yang menahan geser dan lentur saja, persamaan (3.4-3) SK SNI T-15-1991-03 memberikan kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan gaya geser adalah Vc, $Vc = \left(\frac{1}{6}\sqrt{fc'} \right) b_w\ d$ atau dengan menggunakan persamaan persamaan yang lebih terinci sebagal berikut,

$Vc = \frac{1}{7}\left(\sqrt{fc' + 120\ \rho_w \frac{Vu\ d}{Mu}} \right) b_w\ d$ dimana Mu adalah momen terfaktor yang terjadi bersamaan dengan gaya geser terfaktor maksimum Vu, pada penampang kritis, sedangkan batas atas faktor pengali dan Vc adalah sebagai berikut: $\frac{Vu\ d}{Mu} \leq 1{,}0$. Vc ≤ (0,30 $\sqrt{fc'}$) bw d. Dalam persamaan tersebut satuan fc' dalam MPa, bw dan d dalam mm, dan satuan *V,* dalam kN, sedangkan untuk balok persegi *bw sama* dengan b. Kuat geser ideal beton dikenakan faktor reduksi kekuatan Ø = 0,60 sehingga menjadi kuat geser beton (SK SNI T-1 5-1991- 03 pasal 3.2.3). Sedangkan kuat geser rencana Vu, didapatkan dari hasil penerapan faktor beban, dimana nilai Vu lebih mudah ditentukan dengan menggunakan diagram gaya geser.

Di dalam peraturan juga dinyatakan bahwa meskipun secara teoretis tidak perlu penulangan geser apabila Vu ≤ Ø Vc, akan tetapi peraturan mengharuskan untuk selalu menyediakan penulangan geser minimum pada semua bagian struktur beton yang mengalami lenturan (meskipun menurut perhitungan tidak memerlukannya), kecuali untuk:

(1) plat dan fondasi plat,
(2) struktur balok beton rusuk seperti yang ditentukan dalam SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.1.11,
(3) balok yang tinggi totalnya tidak lebih dari 250 mm, atau 2,5 kali tebal flens, atau 1,5 kali lebar badan balok, diambil mana yang terbesar,
(4) tempat di mana nilai V,< 1/2 V.

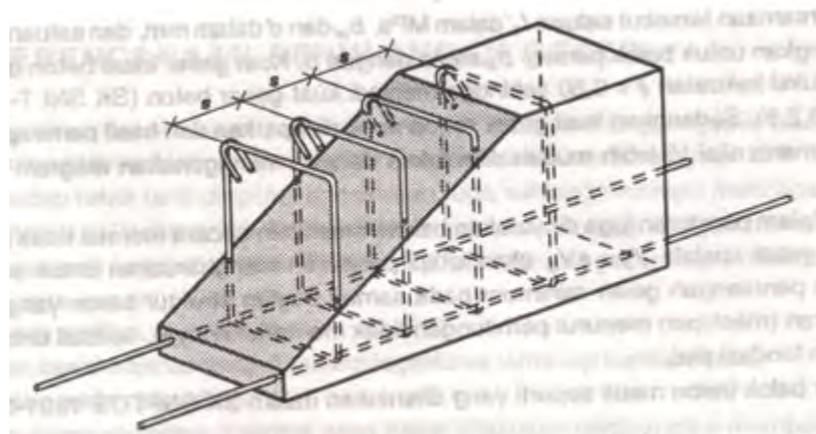
Ketentuan penulangan geser minimum tersebut terutama untuk menjaga agar apabila timbul beban yang tak terduga pada komponen struktur yang mungkin akan mengakibatkan kerusakan (kegagalan) geser. Eksperimen dan penelitian menunjukkan bahwa kerusakan akibat geser pada komponen struktur beton bertulang terlentur selalu terjadi secara tiba-tiba tanpa diawali peringatan terlebih dahulu. Pada tempat dimana tidak diperlukan tulangan geser (plat dan plat fondasi) yang memiliki ketebalan cukup untuk menahan Vu, tulangan geser minimum tidak diperlukan. Sedangkan pada tempat dimana diperlukan tulangan geser minimum, jumlah luasnya ditentukan dengan persamaan (3.4-14) SK SNIT-15-1991-03 sebagai berikut:

$$Av = \frac{1}{3}\frac{b_w\ s}{fy}$$

Av = luas penampang tulangan geser total dengan jarak spasi antar-tulangan s, untuk sengkang keliling tunggal Av = 2 As, dimana As adalah luas penampang batang tulangan sengkang (mm2).

bw = lebar balok, untuk balok persegi = *b* (mm).

s = jarak pusat ke pusat batang tulangan geser ke arah sejajar tulangan pokok memanjang (mm).

fy = kuat leleh tulangan geser (MPa).

Gambar 13. Penampang isometrik susunan sengkang

Apabila gaya geser yang bekerja Vu lebih besar dari kapasitas geser beton Ø Vc maka diperlukan penulangan geser untuk memperkuatnya. Apabila gaya geser yang bekerja di sembarang tempat sepanjang bentang lebih besar dari ½ Ø Vc peraturan mengharuskan memasang paling tidak

tulangan geser minimum yang disyaratkan Pada SK SNI T1 5-1991-03 pasal 3.4.1 dinyatakan bahwa dasar perencanaan tulangan geser adalah:

Vu ≤Ø Vn

dimana Vn = Vc + Vs

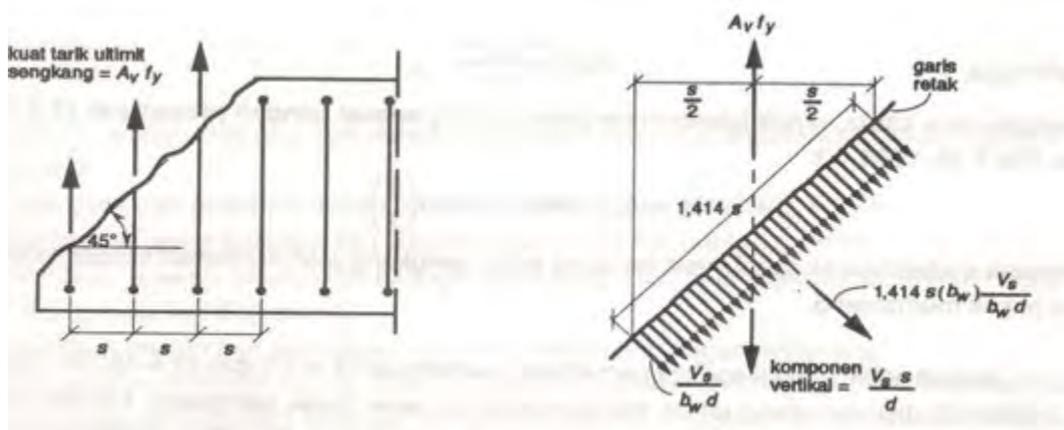
sehingga Vu ≤ Vc + Ø Vs

dimana Vu, Ø, Vc, sudah ditentukan, Vn adalah kuat geser ideal atau nominal, dan Vs adalah kuat geser nominal yang dapat disediakan oleh tulangan geser.

Untuk sengkang tegak (verikal), Vs dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.4-17) SK SNIT-15-1991-03:

$$Vs = \frac{Av\ fy\ d}{s}$$

Persamaan-Persamaan tersebut di atas dapat diuraikan dengan menganggap bahwa sengkang menahan komponen vertikal dan gaya tarik diagonal yang bekerja di daerah ½ s kanan dan kiri dan sengkang yang bersangkutan. Sedangkan komponen horizontal dimasukkan dalam perencanaan tulangan pokok memanjang. Seperi telah disebutkan terdahulu, sebagal pembatas geser rencana (Vu) atau gaya geser yang telah dikalikan dengan faktor beban, sama dengan kuat geser beton ditambah kuat geser tulangan geser.

Vu ≤ Ø (Vc + Vs)

Gambar 14. Penentuan jarak spasi sengkang berdasarkan syarat kekuatan

Dengan menggunakan konsep tegangan geser SK SNI T-15-1991-03 dan memberikan beberapa substitusi, maka didapatkan:

Tegangan geser = $\dfrac{Vu}{\phi\, b_w d} = \dfrac{\phi(Vc + Vs)}{\phi\, b_w d}$

dan persamaan tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

Tegangan geser = $\dfrac{Vc}{b_w d} + \dfrac{Vs}{b_w d}$

suku pertama $\dfrac{Vc}{b_w d}$ adalah kapasitas tegangan geser beton, sedangkan suku kedua sebagai kelebihan tegangan geser di atas kapasitas beton yang harus didukung oleh tulangan baja geser pada balok. Luas daerah tempat bekerjanya tegangan yang harus ditahan, oleh tulangan geser adalah 1,414 s bw sehingga seperti tampak pada Gambar 14 gaya tarik diagonal adalah:

$$1{,}414\ s\ bw\left(\frac{Vs}{b_{w\,d}}\right)$$

komponen vertikal gaya tank diagonal:

$$0{,}707\ (1{,}414\ s\ bw)\frac{Vs}{b_w d} = s\ bw\left(\frac{Vs}{b_{w\,d}}\right) = \frac{Vs\ s}{d}$$

Av, fy adalah kapasitas tarik ultimit sengkang , karena ke arah vertikal harus terjadi keseimbangan, maka:

$Av\ fy = \dfrac{Vs\ s}{d}$ sehingga $Vs = \dfrac{Av\ fy\ d}{s}$

Dengan cara yang sama, untuk tulangan sengkang miring sesuai dengan persamaan (3.4-18) SK SNI T-15-1991-03:

$$Vs = Av\ fy\,(Sin\ \alpha + Cos\alpha)\left(\frac{d}{s}\right)$$

dimana *s* adalah jarak spasi pusat ke pusat antar-sengkang arah horizontal sejajar tulangan pokok memanjang.

Adalah lebih praktis apabila persamaan-persamaan (3.4-17) dan (3.4-18) SK SNI T1 5-1991 -03 disusun ulang untuk mengungkapkan jarak spasi sengkang, karena pada umumnya ukuran batang tulangan sengkang, kekuatan bahan, dan tinggi efektif telah tertentu. Maka perencanaannya adalah menentukan jarak spasi tulangan sengkang dengar menggunakan persamaan sebagal berikut:

Untuk sengkang vertikal $s\ perlu = \dfrac{Av\ fy\ d}{Vs}$

Untuk sengkang miring $s\ perlu = (1.414)\dfrac{Av\ fy\ d}{Vs}$

Harap dicatat bahwa kedua persamaan tersebut digunakan untuk menghitung jarak maksimum antar-sengkang didasarkan pada kuat bahan yang diperlukan. Kuat tulangan geser nominal yang diperlukan Vs dapat ditentukan dari diagram gaya geser terfaktor Vu dan persamaan SK SNI T-15-1991-03 (3.4-1) serta (3.4-2):

Vu ≤ Ø Vc + Ø Vs selanjutnya didapat:

$$Vs\ perlu = \frac{Vu - \phi\, Vc}{\phi} \quad = \frac{Vu}{\phi} - Vc$$

Apabila penampang komponen struktur terlentur juga menahan momen torsi (puntiran) dimana momen torsi tertaktor Tu melebihi nilal $\phi\left(\frac{1}{24}\sqrt{fc'}\sum x^2\ y\right)$ (maka kuat geser Vc adalah:

$$Vc = \frac{\left(\frac{1}{6}\sqrt{fc'}\right)}{\sqrt{1+\left(2{,}50\ Ct\ \frac{Tu}{Vu}\right)^2}}\ bw\ d$$

dan apabila pada komponen tersebut kuat geser terfaktor Vu > ½ Ø Vc, sehingga mernerlukan dipasang tulangan geser minimum, maka luas sengkang tertutup minimum harus dihitung dari persamaan berikut:

$$Av + 2\ At = \frac{1}{3}\frac{bw\ s}{fy}$$

dimana At adalah luas satu kaki sengkang tertutup pada daerah sejarak *s* untuk menahan torsi, mm2.

Dengan demikian prosedur umum perencanaan tulangan sengkang adalah:

a) Hitung nilai geser bordasarkan diagram geser Vu**,** untuk bentang bersih,

b) Tentukan apakah dibutuhkan tulangan sengkang atau tidak, apabila diperlukan sengkang gambarkan diagram Vs

c) Tentukan bagian dan bentangan yang memerlukan tulangan sengkang.

d) Pilih ukuran diameter batang tulangan sengkang (gunakan sengkang vertikal). Ikutilah petunjuk-petunjuk yang berkaitan dengan anggapan-anggapan yang berlaku dan analisis yang harus dilakukan.

e) Tentukan jarak spasi sengkang maksimum sesuai syarat SK SNI T-1 5-1991-03.

f) Hitung kebutuhan jarak spasi sengkang berdasarkan kekuatan yang mampu disumbangkan oleh penulangan sengkang.

g) Tentukan pola dan tata letak sengkang secara keseluruhan dan buatlah gambar sketsanya.

Beberapa petunjuk ketentuan penulangan sengkang

a) Bahan-bahan dan tegangan maksimum

Untuk mencegah terjadinya lebar retak berlebihan pada balok akibat gaya tarik diagonal, SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5 ayat 2 memberikan ketentuan bahwá kuat leleh rencana tulangan geser tidak boleh melampaui 400 MPa. Sedangkan nilai Vs tidak boleh melebihi (2/3 $\sqrt{fc'}$ bw d) terlepas dan berapa jumlah luas total penulangan geser (pasal 3.4.5 ayat 6.8).

b) Ukuran batang tulangan untuk sengkang

Umumnya digunakan batang tulangan D10 untuk sengkang. Pada kondisi dimana bentang dan beban sedemikian rupa sehingga mengakibatkan timbulnya gaya geser yang relatif besar, ada kemungkinan harus menggunakan batang tulangan D12. Penggunaan batang tulangan Dl2 untuk tulangan sengkang merupakan hal yang jarang dilakukan. Untuk balok ukuran besar kadang-kadang digunakan sengkang rangkap dengan perhitungan kemungkinan terjadinya retak diagonal yang menyilang empat atau lebih batang tulangan sengkang vertikal. Apabila digunakan sengkang tertutup tunggal, luas yang disediakan oleh setiap sengkang untuk menahan geser *Av* adalah dua kali luas penampang batang tulangan yang digunakan, karena setiap sengkang menyilang retak diagonal pada dua tempat, sehingga misalnya untuk batang tulangan D10: Av = 157 mm2, sedangkan untuk D12: *Av* = 226 mm2.

Apabila mungkin jangan menggunakan diameter batang tulangan sengkang yang berlainan atau bermacam, gunakan ukuran batang tulangan sama untuk seluruh seongkang kecuah tiada pilihan lain. Pada umumnya yang diatur bervariasi adalah jarak spasi sengkang sedangkan ukuran batang tulangannya diusahakan tetap.

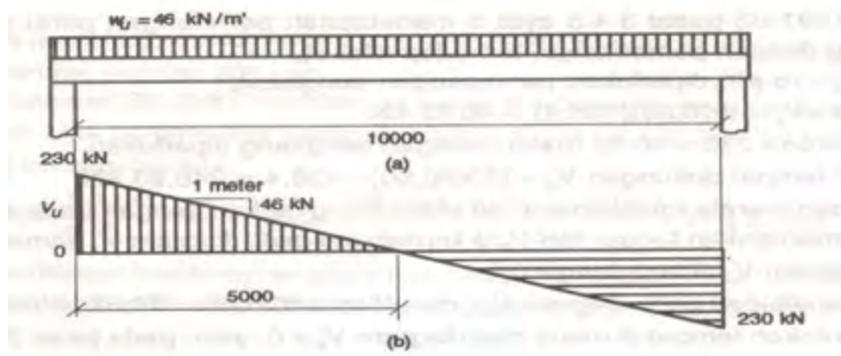
c) Jarak antara sengkang (spasi)

Jarak spasi dan pusat ke pusat antar-sengkang tidak boleh lebih dan ½ d atau 600 mm, mana yang lebih kecil (SK SNI T-1 5-1991-03 pasal 3.4.5 ayat 4.1). Apabila *Vs* melebihi nilai (1/3 $\sqrt{fc'}$ bw d) jarak spasi sengkang tidak boleh lebih dan ¼ d atau 300 mm, mana yang lebih kecil (pasal 3.4.5 ayat 4.3). Pada umumnya akan lebih praktis dan ekonomis untuk menghitung jarak sengkang perlu pada beberapa tempat (penampang) untuk kemudian penempatan songkang diatur sesuai dengan kelompok jarak. Sehingga jarak spasi antar-sengkang sama untuk suatu kelompok jarak dan peningkatan jarak antara satu kelompok dengan Iainnya tidak lebih dan 20 mm. Peraturan menetapkan bahwa jika reaksi tumpuan berupa gaya tekan vertikal di daerah ujung komponen (misalnya suatu balok), maka geser maksimum diperhitungkan akan terjadi pada penampang benjarak *d* dan tumpuan kecuali untuk *brackets,* konsol pendek, atau kondisi khusus yang semacam. Penampang di tempat berjarak dari tumpuan disebut sebagai penampang kritis, dan perencanaan sengkang penampang-penampang yang berada daf am jarak d dan tumpuan menggunakan nilal geser sama yaitu Vu. Dengan kata lain, spasi sejak dan tumpuan sampal ke penampang kritis bernilai tetap dan dihitung berdasarkan kebutuhan sengkang di penampang kritis. Sengkang yang paling tepi dipasang pada jarak ±1/2 s dan tumpuan, dimana *s* adalah spasi sengkang yang diperlukan di daerah tersebut dengan maksud untuk mempertimbangkan keserasian pemasangan keseluruhan bentang. Pengaturan spasi sengkang merupakan fungsi diagram Vs.

Dalam praktik pelaksanaan, pola perencanaan sengkang sepenuhnya tergantung pada pilihan perencana yang dalam hal mi dibatasi oleh pertimbangan segi kebutuhan kekuatan dan ekonomi biaya. Tersedia banyak kemungkinan untuk pengembangan pola tersebut. Pada umumnya nilai gaya geser akan berangsur berkurang sejak dan tempat tumpuan sampai di tengah bentang dan dengan demikian spasi jarak sengkang-pun berangsur ditambah sejak dan penampang kritis sampai mencapai nilai janak spasi maksimum yang

diperkenankan oleh peraturan. Pekerjaan mi memerlukan ketekunan karena merupakan pekerjaan detail dalam kaitannya dengan operasi penempatan tulangan sengkang sedemikian hingga diperoleh penggunaan baja yang seekonomis mungkin. Untuk balok dengan beban meraata pada umumnya digunakan tidak lebih dan dua atau tiga macam spasi sengkang. Sedangkan untuk balok bentangan panjang atau pembebanan terpusat yang kompleks tentunya akan membutuhkan lebih banyak perhitungan dalam perencanaan polanya. Pada umumnya jarak spasi sengkang diambil tidak kurang dari 100 mm.

Contoh Perhitungan

Balok beton bertulang persegi dengan perletakan sederhana, panjang bentangan bersih 10 m, lebar b = 300 mm, tinggi etektif d = 610 mm, menahan beban rencana total (tarmasuk berat sendiri) w = 46 kN/m, fc' = 20 MPa, fy = 240 MPa, rencanakan penulangan gesernya.

Gambar 15. Sketsa Contoh

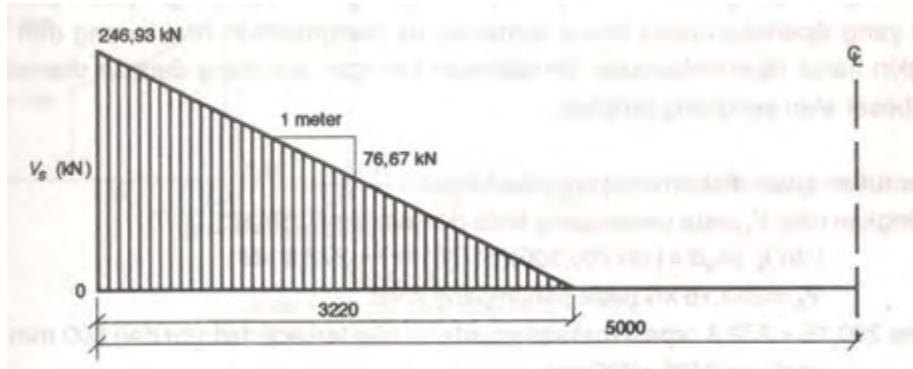
Penyelesaian

Gambar diagram gaya geser Vu (lihat Gambar di atas).

Vu maks = ½ Wu l = ½ (46) (10) = 230 kN.

Gambar diagram gaya Vs perlu (lihat Gambar di atas).

$$Vs_{\ perlu} = \frac{Vu}{\phi} - Vc$$

$$Vc = \left(\frac{1}{6}\sqrt{fc'}\right) b_w d = \left(\frac{1}{6}\sqrt{20}\right)(300)(610)(10)^{-3} = 136{,}4\ kN$$

Gambar 16. Diagram Vs

SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5 ayat 5 menétapkan perhitungan perlu tidaknya dipasang sengkang dengan pemeriksaan terhadap nilai Vu,. Apabila nilai Vu,> ½ Ø Vc diperlukan pemasangan sengkang.

½ Ø Vc = ½ (0,60) (136,4) = 40,92 kN

Karena 230 > 40,92 maka tulangansengkang diperlukan

Di tempat tumpuan Vs = (230/0,60) - 136,4 = 246,93 kN.

- Nilal beban merata total sebesar 46 kN/m diungkapkan dengan garis miring diagram Vu. Karena Vs merupakan fungsi dan Vu/Ø kemiringan gans diagram Vs sama dengan kemirngan garis diagram Vu dibagi dengan Ø.
- Keminngan garis diagram Vs: m = 46/Ø = 46/0,60 = 76,67 kN/m Kemudian ditentukan tempat di mana nilai diagram Vs = 0, yaitu pada jarak 246,93/76,67 = 3,22 m dari tumpuan (diagram Vs).
- Menghitung panjang bagian bentang yang memerlukan sengkang: Mengingat kebutuhan akan tulangan sengkang harus diperhitungkan pada tempat dimana Vu = ½ Ø Vc = 40,92 kN, carilah kedudukan nilai tegangan geser tersebut pada diagram Vu.
- Didapat jaraknya terhadap tumpuan adalah: (230 - 40,92)146 = 4,11 m. Apabila dipilih tulangan D10 (Av = 157 mm^2) untuk sengkang, periksalah spasi yang dibutuhkan pada penampang kritis, di mana merupakan tempat yang memerlukan spasi paling rapat. Dengan menggunakan dalam efektit balok d = 610 mm, maka pada penampang kritis didapat,
  V = 246,93 – 610 (76,67) $(10)^{-3}$ = 200,16 kN

jarak sengkang $s = \frac{Av\ fy\ d}{Vs} = \frac{157\ (240)\ (610)\ (10)^{-3}}{200{,}16} = 114{,}8\ mm$

Gunakan 110 mm, dan ini adalah jarak spasi terbesar yang boleh digunakan pada bagian balok sepanjang d di antara tumpuan dan penampang kritis. Nilai tersebut didasarkan atas kuat geser yang disediakan oleh baja tulangan geser terpasang. Apabila perhitungan spasi yang diperlukan pada kasus semacam ml menghasilkan nilai kurang dan 50 mm, mungkin harus dipertimbangkan penggunaan tulangan sengkang dengan diameter yang lebih besar atau sengkang rangkap.

- Menentukan spasi maksimum yang dibutuhkan:

  Bandingkan nilai Vs pada penampang kritis dengan $\left(\frac{1}{3}\sqrt{fc'}\right) b_w d$:

  $$\left(\frac{1}{3}\sqrt{fc'}\right) b_w d = \left(\frac{1}{3}\sqrt{20}\right)(300)(610)(10)^{-3} = 272{,}8 \cdots kN$$

  Vs = 200,16 kN pada penampang kritis

  Karena 200,16 <272,8 ; spasi maksimum adalah nilai terkecil dari ½ d dan 600 mm. ½ d = ½ (610) = 305 mm

  Pada tempat di mana *Vs* > $\left(\frac{1}{3}\sqrt{fc'}\right) b_w d$: digunakan spasi sengkang

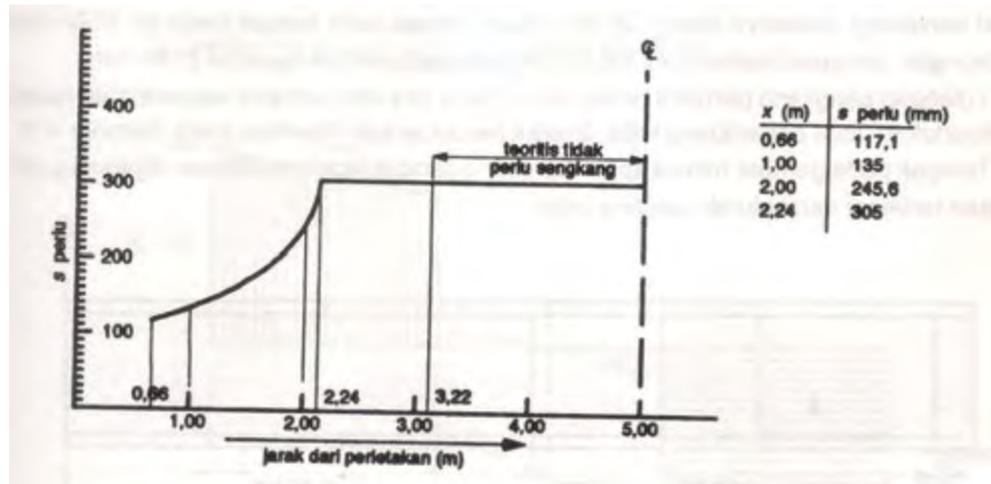
  dengan nilai yang terkecil di antara nilai-nilai ¼ d dan 300 mm.

  Kriteria lain dan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5 ayat 5 yang perlu diperhatikan ialah persyaratan luas penampang tulangan minimum sesuai SK SNI T-15-1991-03 persamaan (3.4-14) sebagai benikut:

  $$Av = \frac{1}{3}\frac{b_w s}{3\ fy}\ atau \quad S_{maks} = \frac{3\ Av\ fy}{b_w} = \frac{3\,(157)\,(240)}{300} = 376{,}8\ mm$$

  Dan hasil pemeriksaan berdasarkan pada dua kriteria tersebut di atas, nilai terkecil yang dipakai ialah jarak spasi maksimum 305 mm untuk keseluruhan panjang balok.

- Menentukanjarak spasi yang dibutuhkan berdasarkan pada kuat geser: Sarnpai sejauh mi telah diketahui bahwa spasi sengkang yang dibutuhkan di tempat penampang kritis adalah 114,8 mm dan spasi maksimum ijin pada balok 305 mm, di bagian mana sengkang harus diperhitungkan.

Untuk menyusun pola pada keseluruhan panjang balok perlu diatur berbagai variasi spasi sesuai dengan kebutuhan sengkang untuk setiap titik sejak tumpuan. Mungkin pengaturannya lebih mudah dilakukan dengan membagi menjadi beberapa kelompok sengkang berdasarkan jarak spasinya. Penentuan jumlah lokasi di tempat mana dilakukan perhitungan spasi perlu merupakan faktor yang harus diperhitungkan dan merupakan fungsi dari diagram *Vs.*

Gambar 17. Sengkang yang diperlukan

Untuk mempermudah perhitungan spasi yang diperiukan pada berbagai tempat di sepanj ang balok dapat dikembangkan dengan membuat tabel atau daftar berdasarkan pada ungkapan berikut ini:

$$S_{perlu} = \frac{Av\ fy\ d}{Vs}$$

Nai Vs diambil dan diagram Vs (Gambar di atas) dengan perhitungan sebagai berikut:

Vs = Vs (maks) – mx

dimana Vs (maks) adalah nlai Vs tepat pada tumpuan, m adalah kemiringan diagram Vs dan x adalah jarak dan tumpuan ke tempat di mana spasi sengkangnya diperhitungkan.

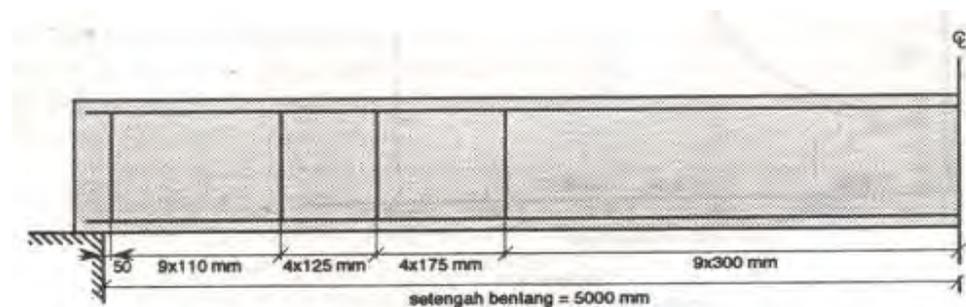
Maka, $S_{perlu} = \frac{Av\ fy\ d}{Vs\ (maks) - mx}$

Apabila perhitungan spasi sengkang yang diperlukan dilakukan secara acak untuk setiap jarak 660 mm, maka pada jarak 660 mm dari tumpuan akan didapatkan,

$$S_{perlu} = \frac{Av\ fy\ d}{Vs\ (maks) - mx} = \frac{157\,(240)(610)(10)^{-3}}{246{,}93 - 76{,}67\,(660)(10)^{-3}} = 117{,}1\ mm$$

Dengan cara yang sama spasi yang diperlukan pada tempat-tempat di sepanjang balok dapat dihitung dan ditentukan. Hasil perhitungan tersebut dibuat daftar dan gambar seperti tampak pada Gambar di atas. Perlu dicatat bahwa pada tempat dimana nilai s_{maks} = 305 mm dilampaui tidak perlu dihitung besarnya spasi sengkang.

Grafik pada Gambar di atas sebagai alat bantu untuk menentukan perhitungan dan pola spasi sengkang. Misalnya spasi 135 mm dapat dimulai pada tempat berjarak 1000 mm dan tumpuan dan spasi maksimum 305 mm dimulai pada tempat berjarak 2240 mm. Tulangan sengkang pertama ditempatkan pada kira-kira berjarak separoh dari spasi yang diperlukan pada penampang kritis. Sketsa perencanaan diberikan pada Gambar di bawah

Tampak pada gambar bahwa spasi sengkang dengan jarak maksimum dipasang pada bagian terbesar dari seluruh panjang balok.

Gambar 18. Sketsa Perencanaan Contoh Perhitungan

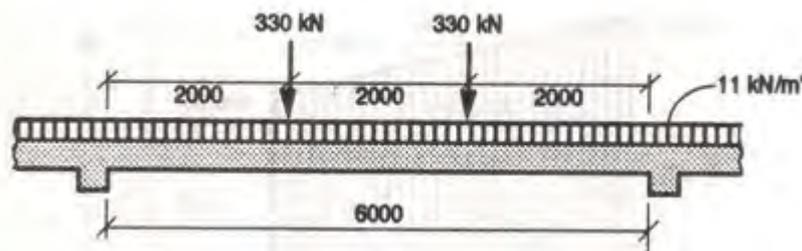
c. Rangkuman

1) Tegangan geser dan lentur akan timbul di sepanjang komponen struktur dimana bekerja gaya geser dan momen lentur, dan penampang komponen mengalami tegangan-tegangan pada tempat-tempat selain di garis netral dan serat tepi penampang.
2) Komposisi tegangan-tegangan di suatu tempat akan menyesuaikan diri secara alami dengan membentuk keseimbangan tegangan geser dan tegangan normal maksimum dalam satu bidang yang membentuk sudut kemiringan terhadap sumbu balok. Dengan menggunakan lingkaran Mohr dapat ditunjukkan bahwa tegangan normal maksimum dan minimum akan bekerja pada dua bidang yang saling tegak lurus satu sama lainnya. Bidang-bidang tersebut dinamakan bidang utama dan tegangan-tegangan yang bekerja disebut tegangan-tegangan utama.
3) Penulangan geser dapat dilakukan dalam beberapa cara, seperti:
   (1) sengkang vertikal,
   (2) jaringan kawat baja las yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial,
   (3) sengkang miring atau diagonal,
   (4) batang tulangan miring diagonal yang dapat dilakukan dengan cara membengkok batang tulangan pokok balok di tempat-tempat yang diperlukan, atau
   (5) tulangan spiral.

d. Tugas

1) Jelaskan perilaku balok tanpa tulangan geser, tunjukkan letak retakan yang terjadi dengan menggamabarkannya.
2) Jelaskan prosedur umum perencanaan tulangan sengkang sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03
3) Diketahui sebuah balok dengan tumpuan sederhana mempunyai benang bersih 300 cm, tinggi 1,80 m, lebar 500 mm. Luas tulangan memanjang 5160 mm2. Beban hidup merata 1000 kN/m. fc' = 30 Mpa, dan fy = 400 Mpa. Rencanakan penulangan gesernya.

e. Tes Formatif

1) Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, jelaskan ketentuan untuk mencegah terjadinya lebar retakan yang berlebihan pada balok.
2) Jelaskan ukuran batang tulangan untuk sengkang secara umum, sesuai dengan ketentuan yang berlaku
3) Satu balok beton bertulang menerus seperti tampak pada Gambar di bawah, lebar balok 400 mm, dalam efektif 780 mm. Beban rencana dan diagram gaya geser seperti tampak dalam gambar. Beban rencana merata sudah termasuk berat sendiri balok Rencanakan tulangan geser balok apabila fc' = 20 MPa dan fy = 240 MPa.

Gambar 19. Sketsa Contoh Perhitungan

f. Kunci Jawaban Tes Formatif

1) Untuk mencegah terjadinya lebar retak yang berlebihan pada balok sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 adalah: dengan memberikan ketentuan bahwá kuat leleh rencana tulangan geser tidak boleh melampaui 400 MPa. Sedangkan nilai Vs tidak boleh melebihi (2/3 $\sqrt{fc'}$ bw d) terlepas dan berapa jumlah luas total penulangan geser (pasal 3.4.5 ayat 6.8).
2) Ukuran batang tulangan untuk sengkang adalah :
   - batang tulangan D10 untuk sengkang. Pada kondisi di mana bentang dan beban sedemikian rupa sehingga mengakibatkan timbulnya gaya geser yang relatif besar,
   - ada kemungkinan harus menggunakan batang tulangan D12. Penggunaan batang tulangan Dl2 untuk tulangan sengkang merupakan hal yang jarang dilakukan. Untuk balok ukuran besar kadang-kadang digunakan sengkang rangkap dengan perhitungan kemungkinan terjadinya retak diagonal yang menyilang empat atau lebih batang

tulangan sengkang vertikal. Apabila digunakan sengkang tertutup tunggal, luas yang disediakan oleh setiap sengkang untuk menahan geser *Av* adalah dua kali luas penampang batang tulangan yang digunakan, karena setiap sengkang menyilang retak diagonal pada dua tempat, sehingga misalnya untuk batang tulangan D10: Av = 157 mm2, sedangkan untuk D12:
Av = 226 mm2.

- Apabila mungkin jangan menggunakan diameter batang tulangan sengkang yang berlainan atau bermacam, gunakan ukuran batang tulangan sama untuk seluwh songk ang kecuah tiada pilihan lain. Pada umumnya yang diatur bervariasi adalah jarak spasi sengkang sedangkan ukuran batang iulangannya diusahakan tetap.

3) Penyelesaian

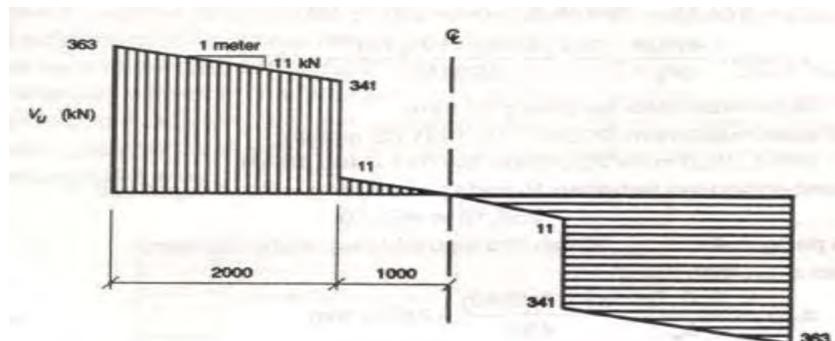
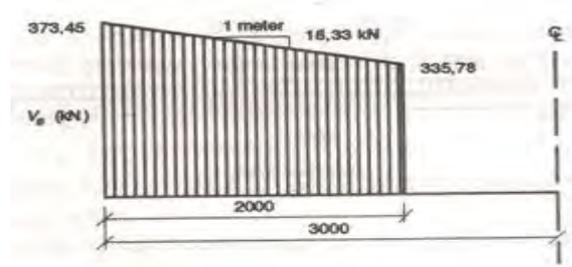
Diagram gaya geser (Vu) seperti tampak pada Gambar di atas

$$Vc = \left(\frac{1}{6}\sqrt{fc'}\right)b_w d = \left(\frac{1}{6}\sqrt{20}\right)(400)(780)(10)^{-3} = 232{,}55\ kN$$

½ ϕ Vc = (0,60) (232,55) = 69,77 kN

Karena 363 > 69,77 diperlukan tulangan sengkang.

Menghitung Vs pada tempat tumpuan balok:

$$Vs\ perlu = \frac{Vu}{\phi} - Vc = \frac{363}{0{,}60} - 232{,}55 = 372{,}45\ kN$$

Gambar 20. Diagram Vu

Gambar 21. Diagram Vs

Menghitung Vs pada tempat di mana bekerja beban terpusat:

$$Vs_{perlu} = \frac{341}{0,6} - 232,55 = 335,78\, kN$$

Kemiringan garis diagram Vs = 11/0,60 = 18,33 kN/m

Diagram Vs seperti tampak pada Gambar di atas.

Panjang bagian balok yang memerlukan tulangan sengkang dihitung sebagai berikut,

½ ϕ Vc = (0,60) (232,55) = 69,77 kN

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa tempat dimana Vu = 69,77 kN adalah tempat bekerjanya beban terpusat yang berjarak 2,0 m dari tumpuan, sedangkan tempat di antara dua beban terpusat tidak lagi memerlukan tulangan baja sengkang. Apabila digunakan tulangan baja D10 (Av = 157 mm^2) untuk sengkang, maka spasi sengkang yang diperlukan pada penampang kriitis adalah,

Vs = 372,45 – 780 (18,33) $(10)^{-3}$ = 358,15 kN

$$S_{perlu} = \frac{Av\ fy\ d}{Vs} = \frac{157\,(240)(780)(10)^{-3}}{358,15} = 82,1\ mm$$

digunakan spasi sengkang 80 mm.

Persyaratan spasi maksimum SK SNI T-1 5-1991-03 adalah,

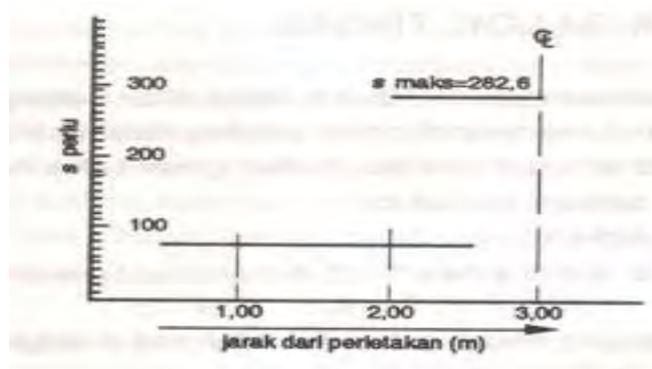
$$\left(\frac{1}{3}\sqrt{fc'}\right)b_w d = \left(\frac{1}{3}\sqrt{20}\right)(400)(780)(10)^{-3} = 465,10\ kN = 465,10\ \text{kN}$$

Dengan membandingkan terhadap Vs pada penampang kriitis, didapatkan:

358,15 <465,10

Sedangkan persyaratan s_{maks} adalah ½ d atau 600 mm, ½ d = 390 mm. Pemeriksaan s_{maks} menghasilkan:

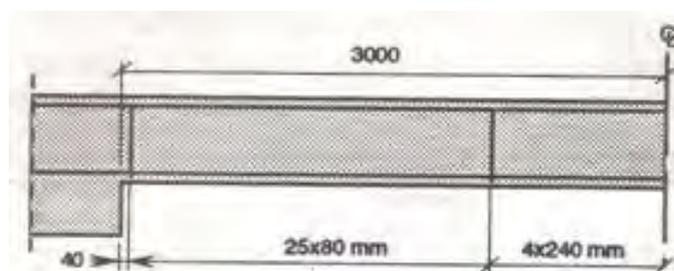
$$S_{maks} = \frac{3\ Av\ fy}{b_w} = \frac{3(157)(240)}{400} = 282,6\ mm$$

Dengan mengingat persyaratan S_{maks} dan untuk analisis selanjutnya, maka digunakan nilai S_{maks} 280 mm.

Gambar 22. Persyaratan Spasi sengkang

Menentukan persyaratan S_{maks} yang harus dipenuhi berdasarkan tinjauan terhadap kuat geser yang harus disediakan, dan ini menghasilkan ungkapan sebagal berikut (notasi yang digunakan sama dengan Contoh perhitungan di atas)

$$Vs = Vs_{(maks)} - mx = 372,45 - 18,33\ (x)$$

$$S_{perlu} = \frac{Av\ fy\ d}{Vs} = \frac{157\,(240)\,(780)\,(10)^{-3}}{372,45 - 18,33\,(x)\,(10)^{-3}} = \frac{29390,4}{372,45 - 18,33(x)\,(10)^{-3}}$$

hasil substitusi dan perhitungannya dituangkan dalam bentuk tabel dan grafik seperti tampak pada Gambar di atas. Pada sekitar tengah bentang balok dapat dipasang sengkang dengan spasi maksimum yang diperkenankan peraturan. Pada bagian balok di antara tumpuan dan tempat bekerjanya beban terpusat dipasang tulangan sengkang spasi 200 mm. Sketsa perencanaan sengkang selengkapnya dapat dilihat pada Gambar di bawah, karena simetri hanya digambar separoh bentang balok saja.

Gambar 23. Sketsa Rencana Sengkang

3. KEGIATAN BELAJAR 3. STRUKTUR KOLOM

a. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari unit ini, peserta didik/siswa diharapkan dapat :

1) Menjelaskan pengertian dan struktur kolom sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03
2) Menjelaskan kekuatan kolom eksentrisitas kecil sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03
3) Menjelaskan persyaratan detail penulangan kolom sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03

b. Uraian Materi

1) Tugas 1. Kolom

SK SNI T-15-1991-03 memberikan definisi, kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkeil. Sedangkan komponen struktur yang menahan beban aksial vertikal dengan rasio bagian tinggi dengan dimensi lateral tarik terkecil kurang dari tiga dinamakan *pedestaL* Sebagai bagian dari suatu kerangka bangunan dengan fungsi dan peran seperti tersebut, kolom menempati posisi penting di dalam sistem struktur bangunan. Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan merupakan batas runtuh total keseluruhan struktur bangunan. Pada umumnya kegagalan atau keruntuhan komponen tekan tidak diawali dengan tanda peringatan yang jelas, bersifat mendadak. Oleh karena itu, dalam merencanakan struktur kolom harus memperhitungkan secara cermat dengan memberikan cadangan kekuatan lebih tinggi daripada untuk komponen struktur lainnya. Selanjutnya, karena penggunaan di dalam praktik umumnya kolom tidak hanya melulu bertugas menahan beban aksial vertikal, definisi kolom diperluas dengan mencakup juga tugas menahan kombinasi beban aksial dan momen lentur. Atau dengan kata lain, kolom harus diperhitungkan untuk menyangga beban aksial tekan dengan eksentrisitas tertentu.

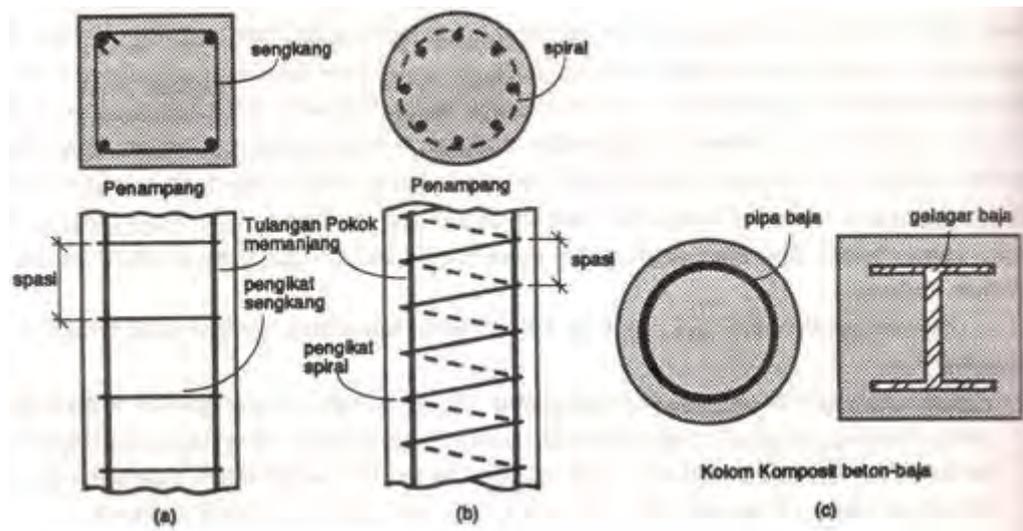
Secara garis besar ada tiga jenis kolom beton bertulang, seperti yang tenlihat pada di bawah.

a) Kolom menggunakan pengikat sengkang lateral. Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangari pokok memanjang, yang pada jarak spasi tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral, sedemikian rupa sehingga penulangan keseluruhan membentuk kerangka seperti tampak pada Gambar 24. (a) di bawah.

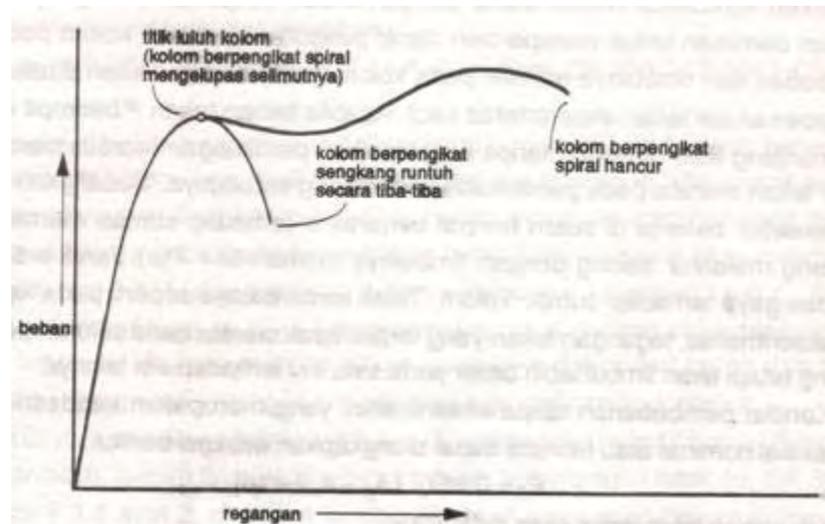
b) Kolom menggunakan pengikat spiral. Bentuknya sama dengan yang pertama hanya saja sebagai pengikat tulangan pokok memanjang adalah tulangan spiral yang dililit keliling membentuk heliks menerus di sepanjang kolom seperti pada Gambar 24. (b)

c) Struktur kolom komposit seperti tampak pada Gambar 24.(c). Merupakan komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa, dengan atau tanpa diberi batang tulangan pokok memanjang.

Pembahasan dalam unit ini dibatasi hanya untuk dua jenis yang pertama, yaitu kolom dengan menggunakan pengikat lateral sengkang dan spiral. Ketentuan yang mengatur persyaratan untuk komponen struktur tekan yang diperkuat dengan gelagar atau pipa baja atau disebut kolom komposit, dapat dijumpai pada pasal 3.3.14 SK SNI T-1 5-1991 -03.

Tulangan pengikat lateral berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh di tempatnya, dan memberikan tumpuan lateral sehingga masing-masing tulangan memanjang hanya dapat tertekuk pada tempat di antara dua pengikat. Dengan demikian tulangan pengikat lateral tidak dimaksudkan untuk memberikan sumbangan terhadap kuat lentur penampang tetapi memperkokoh kedudukan tulangan pokok kolom. Pada umumnya penampang kolom dengan pengikat sengkang lateral berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang, sedangkan kolom dengan sengkang spiral berbentuk bulat. Sudah barang tentu ketentuan tersebut bukanlah persyaratan dan tidak harus diikuti secara ketat, karena di dalam praktik banyak pula dibuat bentuk kolom persegi dengan pengikat spiral ataupun bentuk kolom bulat dengan menggunakan tulang pengikat sengkang lateral. Di samping itu masih ada kemungkinan bentuk-bentuk lain misalnya bentuk segi-delapan, huruf L, dan sebagainya.

Gambar 24. Jenis-Jenis Kolom

Hasil: berbagai eksperimen menunjukkañ bahwa kolom berpengikat Spiral ternyata Iebih’ tangguh daripada yang rnenggunakan tulangan sengkang, seperti dijelaskan pada Gambar 25. Kedua jenis kolom berperilaku sama hanya sampai pada saat tercapainya titik leleh kolom, yaitu pada saat di bagian tepi terluar (selimut beton) terjadi pecah lepas. Pada keadaan tersebüt kolom berpengikat sengkang rusak dengan ditandai betonnya hancur, lepas, berongga, dan lebih lanjut tulangan-tulangan pokok memanjang cenderung tertekuk (buckling) pada tempat di antara dua ikatan sengkang, satu persatu atau bahkan bersama-sama. Pada saat yang bersamaan terjadi proses pelimpahan beban keseluruhan kepada beton bagian inti dan tulangan pokok dalam waktu sangat singkat. Hilangnya kekakuan tulangan pokok memanjang ditandai dengan meleleh dan menekuk ke arah luar, mengakibatkan tegangan tambahan pada beton bagian inti. Apabila beton inti sampai pada batas kekuatan runtuh, keseluruhan kolom runtuh secara mendadak. Kondisi yang lebih baik terdapat pada kolom berpengikat spiral dimana pada bagian inti, yaitu daerah yang dikeililingi oleh tulangan spiral yang berupa beton yang dililit dan terkurung, masih efektif bertahan ke arah lateral dan masih mampu melaksanákan tugasnya menahan beban aksiaL Kehancurari total terjadi:apabila selanjutnya terjadi deformasi besar pada kolom (bagian inti) dan kemudian diikuti dengan melelehnya tulangan spiral. Tulangan spiral memberi kemampuan kolom untuk menyerap deformasi cukup besar sebelum runtuh, sehingga mampu mencegah terjadinya. kehancuran seluruh struktur sebelum proses re distribusi momen dan tegangan terwujud.

Keuletan tersebut merupakan nilai lebih yang didapat dengan menggunakan spiral, terutama apabila digunakan untuk sistem yang memerlukan daktilitas tinggi seperti misalnya struktur tahan gempa. Dengan sendirinya ukuran (dimensi) dan jarak spasi spiral berpengaruh terhadap nilai beban hancur yang dicapal.

Gambar 25. Hubungan beban Versus Regangan pada Kolom

Seianjutnya SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.10 mensyaratkan peninjauan pengaruh kelangsingan kolom sebagai bahan pertimbangan penting di dalam perencanaan kolom. Kiranya hal demikian dapat dimengerti mengingat semakin langsing atau semakin panjang suatu kolom, kekuatan penampangnya akan berkurang bersamaan dengan timbulnya masalah tekuk yang dihadapi. Keruntuhan kolom langsing lebih ditentukan oleh kegagalan tekuk *(buckling*) lateral daripada kuat tentur penampangnya. Berdasarkan keadaan alami, struktur kolom beton umumnya bersitat lebih massal (besar) dibandingkan dengan kolom struktur gelagar baja, dengan demikian secara struktural menjadi lebih kaku dan permasalahan kelangsingan akan berkurang untuk kolom beton bertulang. Hasil perkiraan melalui pengamatan menunjukkan bahwa lebih dan 90% kolom beton bertulang yang digunakan untuk portal dengan pengaku, dan lebih dan 40% untuk portal tanpa pengaku pada rangka bangunan gedung, pada umumnya digolongkan sebagai kolom pendek sehingga efek kelangsingan dapat diabaikan karenanya. Pertama kali akan dibahas dalam uraian berikut adalah analisis dan perencanaan kolom pandek, yaitu struktur kolom yang karena panjang atau tingginya sedemikian rupa sehinga tidak mamerlukan

peninjauan terhadap efek tekuk lateral. Keruntuhan kolom yang demikian ditandai dengan kegagalan unsur bahannya, yaitu hancurnya beton pada peristiwa runtuh tekan .atau lelehnya baja tulangan pada runtuh tarik.

2) Tugas 2. Kekuatan Kolom Eksentrisitas Kecil

Hampir tidak pernah dijumpal kolom yang menopang beban aksial tekan secara konsentris, bahkan kombinasi beban aksial dengan eksentrisitas kecil sangat jarang ditemui. Meskipun demikian untuk memperoleh dasar pengertian perilaku kolom pada waktu menahan beban dan timbulnya momen pada kolom, pertarna-tama akan dibahas kolom dengan beban aksial tekan eksentrisitas kecil. Apabila beban tekan *P* benimpit dengan sumbu memanjang kolom, berarti tanpa eksentrisitas, perhitungan teoretis menghasilkan tegangan tekan merata pada permukaan penampang lintangnya. Sedangkan apabila gaya tekan tersebut bekerja di suatu tempat berjarak *e* terhadap sumbu memanjang, kolom enderung melentur seiring dengan timbulnya momen *M* = *P(e).* Jarak e dinamakan eksentrisitas gaya terhadap sumbu kolom. Tidak sama halnya seperti pada kejadian beban tanpa eksentrisitas, tegangan tekan yang terjadi tidak merata pada seluruh permukaan penampang tetapi akan timbul lebih besar pada satu sisi terhadap sisi lainnya.

Kondisi pembebanan tanpa eksentrisitas yang merupakari keadaan khusus, kuat bebani aksial nominal atau teoretis dapat diungkapkan sebagah benkut:

$$Po = 0{,}85\ fc' (Ag - Ast) + fy\ Ast$$

apabila diuraikan lebih lanjut akan didapatkan:

$$Po = Ag \{ 0{,}85\ fc' (1 - \rho g) + fy\ \rho_g \}$$

$$Po = Ag \{ 0{,}85\ fc' + \rho_g\ (fy - 0{,}85\ fc') \}$$

Sedangkan peraturan memberikan ketentuan hubungan dasar antara beban dengan kekuatan sebagai berikut:

$$Pu \leq \phi\ Pn_g$$

dimana,

Ag = luas kotor penampang lintang kolom (mm2)

Ast = luas total penampang penulangan memanjang (mm2)

Po = kuat beban aksial nominal atau teoretis tanpa eksentrisitas

Pn = kuat beban aksial nominal atau teoretis dengan eksentrisitas tertentu.

Pu = beban aksial terfaktor dengan eksentrisitas

$$\rho_g = \frac{Ast}{Ag}$$

Sehingga apabila memang terjadi, pada kasus beban tanpa eksentrisitas, *P,* akan menjadi sama dengan *P* Sungguhpun demikian, SK SNI T-15-1991-03 menentukan bahwa di dalam praktik tak akan ada kolom yang dibebani tanpa eksentrisitas. Eksentrisitas beban dapat terjadi akibat timbulnya momen yang antara lain disebabkan oleh kekangan pada ujung-ujung kolom yang dicetak secara monolit dengan komponen lain, pelaksanaan pemasangan yang kurang sempurna, ataupun penggunaan mutu bahan yang tidak merata. Maka sebagai tambahan faktor reduksi kekuatan untuk memperhitungkan eksentrisitas minimum, peraturan memberikan ketentuan bahwa kekuatan nominal kolom dengan pengikat sengkang direduksi 20% dan untuk kolom dengan pengikat spiral direduksil 5%. Ketentuan tersebut di atas akan memberikan rumus kuat beban aksial maksimum seperti berikut:

Untuk kolom dengan penulangan spiral:

ϕ Pn (maks) = 0,85 ϕ {0,85 fc' (Ag – Ast) + fy Ast} Pers. SK SNI

Untuk kolom dengan penulangan sengkang:

ϕ Pn (maks) = 0,80 ϕ {0,85 fc' (Ag – Ast) + fy Ast} Pers. SK SNI

Beban aksial bekerja dalam arah sejajar sumbu memanjang dan titik kerjanya tidak harus di pusat berat kolom, berada di dalam penampang melintang, atau pusat geometrik. Dalam memperhitungkan kuat kolom terhadap beban aksial eksentrisitas kecil digunakan dasar anggapan bahwa akibat bekerjanya beban batas (ultimit), beton akan mengalami tegangan sampai nilai 0,85f' dan tulangan bajanya mencapai tegangan leleh f'y. Sehingga untuk setiap penampang kolom, kuat beban aksial nominal dengan eksentrisitas kecil dapat dihitung langsung dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam dari beton dan tulangan baja pada waktu mengalami tegangan pada tingkat kuat maksimum tersebut.

Selanjutnya, sewaktu terjadi pecah lepas di bagian luar (selimut beton) di kedua macam kolom tersebut, berarti batas kekuatannya telah terlampaui.

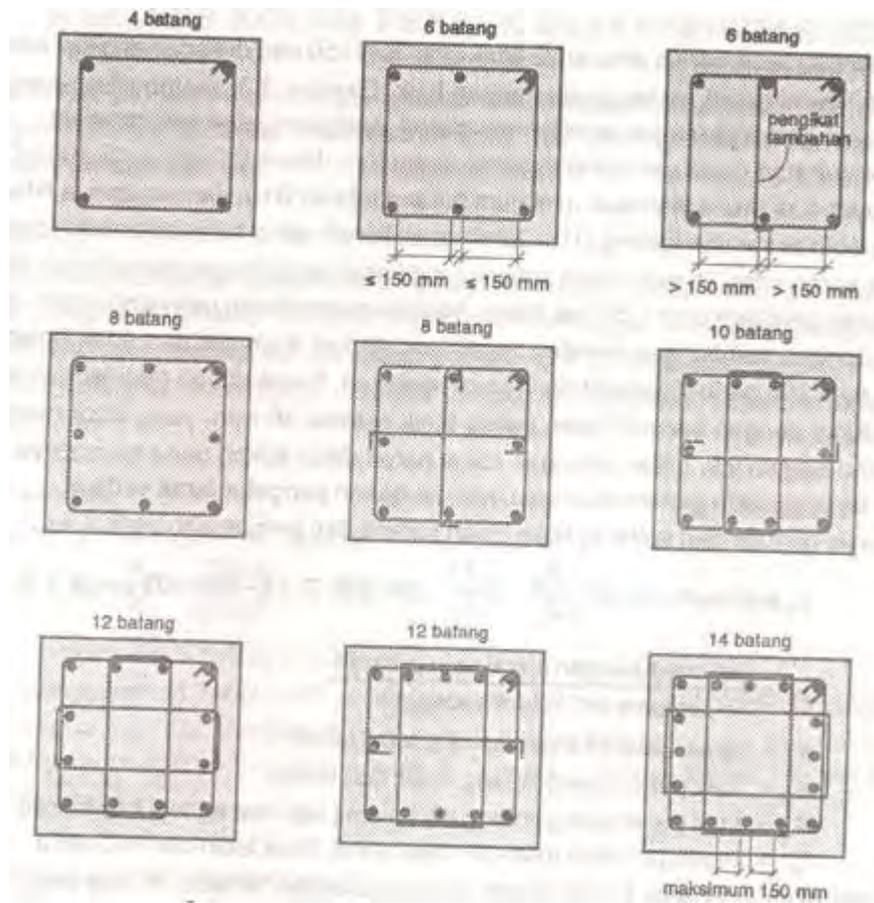
Untuk itu, SK SNI T-1 5- 1991-03 pasal 3.2.3 ayat 2, di dalam ketentuannya menganggap bahwa kolom dengan pengikat spiral masih lebih ulet sehingga diberikan faktor reduksi kekuatan = 0,70 sedangkan kolom dengan pengikat sengkang 0,65. Faktor keamanan yang lebih tinggi diberikan untuk kolom berpengikat sengkang dalam rangka memperhitungkan kecenderungan runtuh secara mendadak dan terbatasnya kemampuan menyerap enerji pada kolom tersebut. Akan tetapi, apabila diambil keputusan untuk menggunakan kolom berpengikat spiral dengan berdasarkan pada pertimbangan nilai kekuatan dan ekonomi (di luar pertimbangan ketahanan daktail), harap diperhatikan bahwa peningkatan kekuatan yang diperoleh adalah 0,70/0,65 =1,08 atau hanya 8% saja.

Ungkapan tersebut memberikan gambaran mengenai kuat beban aksial maksimum yang dapat disediakan oleh kolom sebarang penampang dengan eksentrisitas minimum.

3) Tugas 3. Persyaratan Detail Penulangan Kolom

Pembatasan jumlah tulangan komponen balok agar penampang berperilaku daktail dapat dilakukan dengan mudah, sedangkan untuk kolom agak sukar karena beban aksial tekan lebih dominan sehingga keruntuhan tekan sulit dihindari. Jumlah luas penampang tulangan pokok memanjang kolom dibatasi dengan rasio penulangan Pg antara 0,01 dan 0,08, Penulangan yang lazim dilakukan di antara 1,5% sampai 3% dan luas penampang kolom. Khusus untuk struktur bangunan berlantai banyak, kadang-kadang penulangan kolom dapat mencapai 4%, namun disarankan untuk tidak menggunakan nilai lebih dari 4% agar penulangan tidak berdesakan terutama pada titik pertemuan balok-balok, plat, dengan kolom. Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.9, penulangan pokok memanjang kolom berpengikat spiral minimal terdiri dari 6 batang, sedangkan untuk kolom berpengikat sengkang bentuk segi empat atau lingkaran terdiri dari 4 batang, dan untuk kolom dengan pengikat sengkang berbentuk segitiga minimal terdiri dan 3 batang tulangan.

SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.16.6 menetapkan bahwa jarak bersih antara batang tulangan pokok memanjang kolom berpengikat sengkang atau spiral tidak boleh kurang dari 1,5 d_b atau 40 mm. Persyaratan jarak tersebut juga harus dipertahankan di tempat tempat sambungan lewatan batang tulangan.

Tebal minimum selimut beton pelindung tulangan pokok memanjang untuk kolom berpengikat spiral maupun sengkang dalam SK SNIT-15-1991-03 pasal 3.16.7. ayat 1 ditetapkan tidak boleh kurang dari 40 mm.

Gambar 26. Ssunan Penulangan Kolom Spiral

Persyaratan detail sengkang secara rind tercantum di dalam pasal 3.16.10 ayat 5. Semua batang tulangan pokok harus dilingkup dengan séngkang dan kait pengikat lateral, paling sedikit dengan batang D10. Batasan minimum tersebut diberlakukan untuk kolom dengan tulangan pokok memanjang batang D32 atau lebih kecil, sedangkan untuk diameter tulangan pokok lebih besar lainnya, umumnya sengkang tidak kurang dari batang D12, dan untuk kesemuanya tidak menggunakan ukuran yang lebih besar dari batang D16 (lihat Tabel A-40). Jarak spasi tulangan sengkang p.k.p. tidak lebih dari 16 kali diameter tulangan pokok memanjang, 48 kali diameter tulangan sengkang, dan dimensi lateral terkecil (lebar) kolom. Selanjutnya disyaratkan bahwa tulangan sengkang atau kait pengikat harus dipasang dan diatur sedemikian rupa sehingga sudut-sudutnya tidak dibengkok dengan sudut lebih besar dari 135^0. Sengkang dan kait pengikat harus cukup kokoh Untuk menopang batang tulangan pokok memanjang,

baik yang letaknya di pojok maupun sepanjang sisi ke arah lateral. Untuk itu batang tulangan pokok memanjang harus dipasang dengan jarak bersih antaranya tidak lebih dari 150 mm di sepanjang sisi kolom agar dukungan lateral dapat berlangsung dengan baik. Gambar 26 memberikan pengaturan pemasangan batang tulangan pokok memanjang, sengkang, dan kait pengikat.

Persyaratan detail penulangan spiral tercantum dalam SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.16.10 ayat 4, dimana diameter minimum batang adalah D10, dan umumnya tidak menggunakan lebih besar dari batang D16. Jarak spasi bersih spiral tidak boleh lebih dari 80 mm dan tidak kurang dari 25 mm. Pada setiap ujung kesatuan tulangan spiral harus ditambahkan panjang penjangkaran 1,50 kali lilitan. Apabila memerlukan penyambungan, harus dilakukan dengan sambungan lewatan sepanjang 48 kali diameter dan tidak boleh kurang dari 300 mm, bila penlu diperkuat dengan pengelasan.

Keseluruhan penulangan spiral harus dilindungi dengan selimut beton paling tidak setebal 40 mm, yang dicor menyatu dengan beton bagian inti. Lilitan tulangan spiral harus diikat kokoh pada tempatnya, dan betul-betul terletak pada garisnya dengan menggunakan pengatur jarak vertikal

Rasio penulangan spiral ρ_s tidak boleh kurang dari persamaan berikut ini:

$$\rho_{s\ \min imum} = 0{,}45\left(\frac{Ag}{Ac} - 1\right)\frac{fc'}{fy}$$ (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.9.3)

dimana :

$$\rho_s = \frac{Volume\ \ tulangan\ \ spiral\ satu\ \ putaran}{Volume\ \mathrm{int}\, i\ kolom\ setinggi\ \ s}$$

s = jarak spasi tulangan spiral p.k.p. (pitch)

Ag = luas penampang lintang kotor dan kolom

Ac = luas penampang lintang inti kolom (tepi luar ke tepi luar spiral)

fy = tegangan leleh tulangan baja spiral, tidak lebih dan 400 Mpa.

Jumlah spiral yang didapat berdasarkan rasio penulangan tersebut di atas secara teoritis akan memberikan spiral yang mampu memperbaiki keadaan sewaktu terjadi kehilangan kekuatan pada saat terjadi pecah lepas beton lapis tertuar (lihat Gambar 25).

Dari definisi ρ_s tersebut dapat dikembangkan perkiraan rasio penulangan spiral ctual yang lebih praktis dikaitkan dengan sifat fisik penampang

lintang kolom. Ditentukan bahwa Dc, adalah diameter inti kolom (dari tepi ke tepi terluar spiral), Ds adalah diameter spiral dari pusat ke pusat (pk.p.), dan Asp adalah luas penampang batang tulangan spiral. Selanjutnya ungkapan ρ_s dapat disusun sebagai berikut:

$$\rho_s = \frac{Asp\ \pi\ Ds}{\frac{\pi\ Dc^2}{4}(s)}$$

Apabila perbedaan kecil antara *Dc* dan *Ds* diabaikan, sehingga *Dc* = Ds, maka rumus tersebut di atas menjadi:

$$\rho_s = \frac{4\ Asp}{Dc\ s}$$

4) Tugas 4. Analisis Kolom Pendek Eksentrisitas Kecil

.Analisis kolom pendek yang menopang beban aksial eksentrisitas kecil pada hakekatnya adalah pemeriksaan terhadap kekuatan maksimum bahan yang tersedia dari berbagai detail rencana penulangannya.

Contoh Perhitungan

Tentukan kekuatan beban aksia! Maksimum yang tersedia pada kolom persegi dengan pengikat sengkang, dimensi 400x400 mm2, tulangan pokok 8D29, sengkang D10, selimut beton 40 mm (bersih), berupa kolom pendek, fc' = 25 MPa, mutu baja fy = 400 MPa baik untuk tulangan memanjang maupun sengkang. Periksalah juga kekuatan sengkangnya.

Penyelesaian

Periksa rasio penulangan memanjang,

$$\rho_p = \frac{Ast}{Ag} = \frac{5284}{(400)^2} = 0{,}033$$

$$0{,}01 < \rho_g = 0{,}033 < 0{,}08$$

Dengan menggunakan Tabel A-40, untuk lebar inti 320 mm (lebar kolom dikurangi selimut beton di kedua sisi) dan dengan menggunakan batang tulangan baja memanjang D29, jumlah maksimum batang tulangan adalah 8. Dengan demikian jumlah batang tulangan baja sudah sesuai.

Menghitung kuat kolom maksimum:

$$\phi\ Pn_{(maks)} = 0{,}80\ \phi\ \{0{,}85\ fc'\ (Ag - Ast) + fy\ Ast\}$$

= 0,80 (0,65) {0,85 (30) (160000 – 5284) + 400 (5284)} $(10)^{-3}$

= 3151 kN

Pemeriksaan pengikat sengkang:

Penulangan sengkang menggunakan batang tulangan D10 umumnya dapat diterima untuk penggunaan batang tulangan pokok memanjang sampai dengan D32.

Jarak spasi tulangan sengkang tidak boleh lebih besar dari nilai yang terkecil berikut ini:

48 kali diameter batang tulangan sengkang = 48(10) = 480 mm

16 kali diameter batang tulangan memanjang = 16(29) = 464 mm

lebar kolom = 400 mm

Dengan demikiari jarak spasi tulangan sengkang 400 mm telah memenuhi syarat. Susunan tulangan sengkang ditetapkan dengan cara memeriksa jarak bersih antara batang-batang tulangan pokok memanjang, sesuai dengan persyaratan tidak boleh lebih besar dari 150 mm. Apabila jarak bersih tersebut lebih besar dari 150 mm, sengkang memerlukan batang pengikat tambahan untuk memperkokoh kedudukan tulangan pokok sesuai dengan ketentuan SK SNI T-15-1 991-03 pasal 3.16.10. ayat 5.3.

Jarak bersih= 112{400 — 2(40) — 2(10) — 3(29)} = 121 mm <150 mm

Maka tidak diperlukan tulangan pengikat tambahan untuk kolom mi.

Contoh Perhitungan

Perhitungkan apakah kolom dengan penampang lintang seperti tergambar pada Gambar 27 cukup kuat untuk menopang beban aksial rencana P, = 2400 kN dengan eksentrisitas kecil, fc' = 30 MPa, fy = 400 MPa, periksalah tulangan sengkangnya.

Penyelesaian

DariTabel A-4 didapat A= 3436,1 mm2 dan untuk diameter kolom bulat 380 mm didapat luas penampang lintang kotor dari kolom Ag= 113411 mm2.

Maka, $\rho_g = \frac{3436,1}{113411} = 0,0303$

$$0,01 < \rho_g \rho_s = 0,0303 < 0,08$$

Dan Daftar A-40, untuk diameter iini kolom 300 mm penggunaan 7 batang tulangan baja D25 cukup memenuhi syarat.

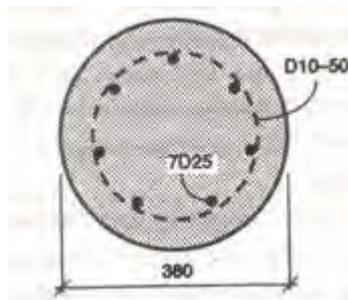
Kuat kolom maksimum:

$$\phi\, Pn_{(maks)} = 0{,}85\,\phi\,\{0{,}85 fc'\left(Ag - Ast\right) + fy\; Ast\}$$

= 0,85 (0,70) { 0,85 (30) (113411) + 400 (3436,1)} $(10)^{-3}$

= 2486 kN

ternyata kuat kolom masih lebih besar dari beban aksial yang bekerja. Pemeriksaan pengikat spiral:

Dengan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.16.10 ayat 4.2 dan Tabel A-40, dapat disimpulkan bahwa menggunakan batang tulangan D10 untuk spiral telah memenuhi syarat.

Gambar 27. Sketsa Contoh Perhitungan

Dengan menggunakan Tabel A-40, dihitung ρ_{min} untuk nilai Ac sebagai berikut:

$$\rho_{s\,(\min)} = 0{,}45\left(\frac{Ag}{Ac} - 1\right)\frac{fc'}{fy} = 0{,}45\left(\frac{113411}{70686} - 1\right)\frac{30}{400} = 0{,}0204$$

$$\rho_{s\,(aktual)} = \frac{4\;Asp}{Dc\;s} = \frac{4\,(78{,}5)}{300\,(50)} = 0{,}0209 > 0{,}0204$$

Jarak bersih spiral tidak boleh lebih besar dari 80 mm dan tidak kurang dari 25 mm.

Jarak bersih = 50mm - 10mm = 40mm

Maka, kolom yang sesuai dengan kondisi yang ditentukan telah memenuhi syarat.

5) Tugas 5. Perencanaan Kolom Pendek Eksentrisitas Kecil

Perencanaan kolom beton bertulang pada hakekatnya menentukan dimensi serta ukuran-ukuran baik beton maupun batang tulangan baja, sejak dari menentukan ukuran dan bentuk penampang kolom, menghitung kebutuhan penulangannya sampai dengan memilih tulangan sengkang atau spiral sehingga didapat ukuran dari jarak spasi yang tepat. Karena rasio luas

penulangan terhadap beton ρ_g harus berada dalam daerah batas nilal 0,01 $\leq \rho_g \leq$ 0,08, maka persamaan kuat perlu yang diberikan dimodifikasi untuk dapat memenuhi syarat tersebut.

Untuk kolom dengan pengikat sengkang,

$$\phi\, Pn_{(maks)} = 0{,}85\,\phi\,\{0{,}85 fc'\left(Ag - Ast\right) + fy\ Ast\}$$

$$\rho_g = \frac{Ast}{Ag}$$

$$Ast = \rho_g\ Ag$$

$$\phi\, Pn_{(maks)} = 0{,}80\,\phi\,\{0{,}85 fc'\left(Ag - \rho_g\ Ag\right) + fy\ \ \rho_g\ (Ast)\}$$

$$= 0{,}80\,\phi\ Ag\left\{0{,}85 fc'\left(1 - \rho_g\right) + fy\ \rho_g\right\}$$

Karena, Pu $\leq \phi\, Pn_{(maks)}$ maka dapat disusun ungkapan Ag perlu berdasarkan pada kuat kolom Pu dan rasio penulangan ρ_g sebagai berikut:

Untuk kolom dengan pengikat sengkang,

$$Ag_{\ (perlu)} = \frac{Pu}{0{,}80\,\phi\left\{0{,}85 fc'\left(1 - \rho_g\right) + fy\ \rho_g\right\}}$$

Untuk kolom dengan pengikat spiral,

$$Ag_{\ (perlu)} = \frac{Pu}{0{,}85\,\phi\left\{0{,}85 fc'\left(1 - \rho_g\right) + fy\ \rho_g\right\}}$$

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa untuk menentukan bentuk dan ukuran kolom berdasarkan rumus di atas, banyak kemungkinan serta pilihan sahih yang dapat memenuhi syarat kekuatan untuk menopang sembarang beban Pu. Untuk nilai ρ_g yang lebih kecil memberikan hasil Ag lebih besar, demikian pula sebaliknya. Banyak pertimbangan dan faktor lain yang berpengaruh pada pemilihan bentuk dan ukuran kolom, di antaranya ialah pertimbangan dan persyaratan arsitektural atau pelaksanaan pembangunan yang menghendaki dimensi struktur seragam untuk setiap lantai agar menghemat acuan kolom dan perancahnya.

Contoh Perhitungan

Rencanakan kolom berbentuk bujur sangkar dengan pengikat sengkang untuk menopang beban kerja aksial, yang terdiri dari beban mati 1400 kN

dan beban hidup 850 kN, kolom pendek, fc' = 30 Mpa, fy = 400 Mpa, gunakan ρ_g = 0,03.

Penyelesaian

Kuat bahan dan perkiraan ρ_g telah ditentukan.

Beban rencana terfaktor adalah: P,= 1,6 (850) + 1,2 (1400) = 3040 kN Luas kotor penampang kolom yang diperlukan adalah:

$$Ag_{\ (perlu)} = \frac{Pu}{0,80\,\phi\,\{0,85\,fc'\,(1-\rho_g) + fy\,\rho_g\}}$$

$$= \frac{3040\,(10)^3}{0,80\,(0,65)\ \{0,85\,(30)(1-0,03) + 400\,(300)\}} = 159144\ mm2$$

Ukuran kolom bujur sangkar yang diperlukan menjadi: $\sqrt{\ }$ (159144) = 399 mm . Tetapkan ukuran 400 mm, yang dengan demikian mengakibatkan nilai ρ_g akan kurang Sedikit dari yang ditentukan ρ_g = 0.03.

Ag aktual = $(400)^2$ = 160000 mm2

Nilai perkiraan beban yang dapat disangga oleh daerah beton (karena ρ_g berubah):

Beban pada daerah beton = 0,80(0,85fc')Ag(1- ρ_g)

= 0,80(0, 65)(0,85)(30)(1 60000)(1 - 0,03) $(I0)^{-3}$ = 2058 kN

Dengan demikian, Beban yang harus didukung oleh batang tulangan baja adalah:

3040 – 2058 =982 kN

Kekuatan maksimum yang disediakan oleh batang tulangan baja adalah 0,80 ϕAst fy, maka luas penampang batang tulangan baja yang diperlukan dapat dihitung sebagai berikut:

$$Ast_{\ (perlu)} = \frac{982\,(10)^3}{0,80\,(0,65)(400)} = 4721\ mm2$$

Gambar 28. Sketsa Perencanaan

Digunakan satu macam ukuran batang tulangan baja dan dipasang merata di sepanjang kelihing sengkang, untuk itu dipilih batang tulangan sedemikian rupa sehingga jumlahnya merupakan kelipatan empat. Gunakan 8 batang tulangan baja D29 (Ast = 5284 mm2). Dan Tabel A-40 didapatkan ketentuan bahwa penggunaan 8 batang tulangan baja D29 memberikan lebar diameter inti maksimum 320 mm, dengan demikian penulangan yang direncanakan tersebut memenuhi syarat.

Merencanakan tulangan sengkang:

DariTabel A-40, pilih batang tulangan baja D10 untuk sengkang. Jarak spasi tidak boleh lebih besar dari:

48 kali diameter batang tulangan sengkang = 48(10) = 480 mm

16 kali diameter batang tulangan memanjang = 16(29) = 464 mm

Ukuran kolom arah terkecil (lebar) = 400 mm

Gunakan batang tulangan baja D10 untuk sengkang, dengan jarak spasi p.k.p. 400 mm.

Periksa susunan tulangan pokok dan sengkang dengan mengacu pada Gambar 9.7

Jarak bersih batang tulangan pokok bersebelahan pada sisi kolom adalah:

½ {400 – 80 – 20 - 3(29)}= 106,5 mm <150 mm

Dengan demikian tidak perlu tambahan batang pengikat tulangan pokok kolom sebagaimana yang ditentukan dalam SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.16.10 ayat 5.3.

Sketsa perencanaan seperti terhihat pada Gambar 28.

Contoh Perhitungan

Rencanakan kolom berbentuk bujur sangkar dengan pengikat spiral untuk menopang beban kerja aksial, yang terdiri dari beban mati 1400 kN dan beban hidup 850 kN, kolom pendek, fc' = 30 Mpa, fy = 400 Mpa, gunakan ρ_g = 0,03.

Penyelesaian

Gunakan fc'= 30 MPa, fy= 400 MPa, dan perkiraan ρ_g = 0,03. Seperti halnya pada Contoh sebelumny: Pu= 3040 kN

$$Ag_{\ (perlu)} = \frac{Pu}{0{,}85\ \phi\ \{0{,}85 fc'\left(1-\rho_g\right)+fy\ \rho_g\}}$$

$$= \frac{3040\,(10)^3}{0{,}85\,(70)\ \{0{,}85\,(30)\left(1-0{,}03_g\right)+400\,(0{,}03)\}} = 139084\ mm2$$

Tetapkan diameter kolom 430 mm,

Ag aktual = 145220 mm2

Beban pada daerah beton = 0,85 ϕ (0,85fc')Ag(1- ρ_g)

= 0,85 (0,70) (0,85) (30) (145220) (1- 0,03)(10)$^{-3}$ = 2137 kN

Beban yang harus disangga oleh batang tulangan baja adalah:

3040—2137=903 kN

$$Ast_{\ (perlu)} = \frac{903\,(10)^3}{0{,}80\ \phi\,(fy)} = \frac{903\,(10)^3}{0{,}80\,(0{,}70)(400)} = 4031 mm2$$

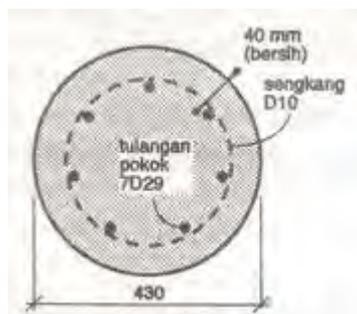
Gunakan 7 batang tulangan baja D29 (A,= 4623,7 mm2). Dan Tabel A-40 didapatkan batasan maksimal penggunaan 8 batang tulangan baja D32 untuk diameter inti kolom bulat maksimum 350 mm, dengan demikian penulangan yang direncanakan memenuhi syarat.

Merencanakan tulangan spiral:

Dari Daftar A-40, tentukan Ac dan memilih batang tulangan baja D13 untuk penulangan spiral, dengan penentuan jarak spasi didasarkan pada nilai ρ_g,

$$\rho_{s\,(\min)} = 0{,}45\left(\frac{Ag}{Ac}-1\right)\frac{fc'}{fy} = 0{,}45\left(\frac{145220}{96211}-1\right)\frac{30}{400} = 0{,}0172$$

Jarak spasi maksimum diperoleh dengan cara memberikan nilai ρ_g (min) untuk ρ_g

$$\rho_{s\,(aktual)} = \frac{4\ Asp}{Dc\ s} \quad sehingga \quad S_{maks} = \frac{4\ Asp}{Dc\ \rho_{(\min)}} = \frac{4\,(132{,}7)}{350\,(0{,}0172)} = 88{,}2 \quad mm$$

Gambar 29. Sketsa Contoh perhitungan

gunakan spiral dengan jarak spasi 80 mm, jarak spasi bersih lilitan spiral tidak lebih dari 80 mm dan kurang dari 25 mm,

Jarak spasi bersih = 80 – 13 = 67 mm

Sketsa perencanaan seperti tampak pada Gambar 29

Dan pembahasan di atas dapatlah disusun ikhtisar baik untuk analisis dan perencanaan kolom pendek eksentrisitas kecil sebagal berikut:

Analisis:

a) Pemeriksaan apakah ρ_g masih di dalam batas yang memenuhi syarat,

   0,01 $\leq \rho_g \leq$ 0,08

b) Pemeriksaan jumlah tulangan pokok memanjang untuk mendapatkan jarak bersih antara batang tulangan (lihat Tabel A-40). Untuk kolom berpengikat sengkang paling sedikit 4 batang, dan kolom berpengikat spiral minimum 6 batang tulangan memanjang.

c) Menghitung kuat beban aksial maksimum $\phi\, Pn_{(maks)}$

d) Pemeriksaan penulangan lateral (tulangan pengikat). Untuk pengikat sengkang, periksa dimensi batang tulangannya, jarak spasi, dan susunan penampang dalam hubungannya dengan batang tulangan memanjang. Untuk pengikat spiral, dipeniksa dimensi batang tulangannya, rasio penulangan ρ_s, dan jarak spasi bersih antara spasi.

Perencanaan:

a) Menentukan kekuatan bahan-bahan yang dipakal. Tentukan raslo penulangan ρ_g yang direncanakan apabila dnginkan.

b) Menentukan beban rencana terfaktor P,

c) Menentukan luas kotor penampang kolom yang diperlukan Ag.

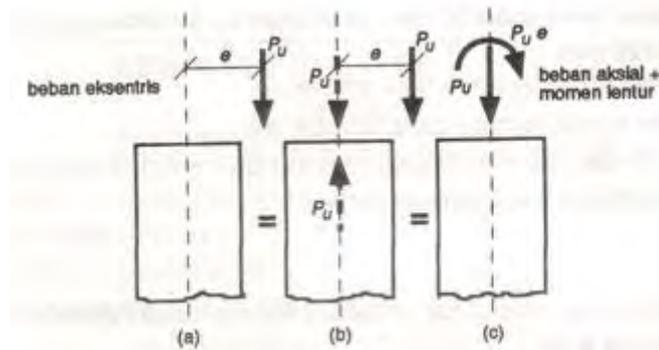
d) Memilih bentuk dan ukuran penampang kolom, gunakan bilangan bulat.

e) Menghitung beban yang dapat didukung oleh beton dan batang tulangan pokok memanjang. Tentukan luas penampang batang tulangan baja memanjang yang diperlukan, kemudian pilih batang tulangan yang akan dipakai.

f) Merancang tulangan pengikat, dapat berupa tulangan sengkang atau spiral.

g) Buat sketsa rancangannya.

6) **Tugas 6. Hubungan Beban Aksial dan Momen**

Untuk menjelaskan kesepadanan statika antara beban aksial eksentrisitas dengan kombinasi beban aksial-momen digunakan Gambar 30. Apabila gaya dan beban P bekerja pada penampang kolom berjarak e terhadap sumbu seperti terlihat pada Gambar 30.a, akibat yang ditimbulkan akan sama dengan apabila suatu pasangan yang terdiri dari gaya beban

Gambar 30. Hubungan Beban Aksial – Momen – Eksentrisitas

aksial Pu pada sumbu dan momen, Mu =Puθ, bekerja serentak bersama-sama seperti tampak pada Gambar 30.c. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa apabila suatu pasangan momen rencana terfaktor Mu dan beban rencana terfaktor Pu bekerja bersama-sama pada suatu komponen struktur tekan, hubungannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$e = \frac{Mu}{Pu}$$

Untuk suatu penampang tertentu, hubungan tersebut di atas bernilai konstan dan memberikan variasi kombinasi beban lentur dan beban aksial dalam banyak cara. Apabila dikehendaki eksentrisitas yang semakin besar, beban aksial Pu, harus berkurang sampai suatu nilai sedemikian rupa sehingga kolom tetap mampu menopang kedua beban, beban aksial Pu dan momen Puθ. Sudah barang tentu, besar atau jumlah pengurangan Pu yang diperlukan sebanding dengan peningkatan besarnya eksentrisitas. Dengan demikian kekuatan suatu penampang kolom dapat diperhitungkan terhadap banyak kemungkinan kombinasi pasangan beban aksial dan momen. Kuat lentur penampang kolom dapat direncanakan untuk beberapa kemungkinan kuat beban aksial yang berbeda, dengan masing-masing mempunyai pasangan kuat momen tersendiri Namun demikian, mekanisme

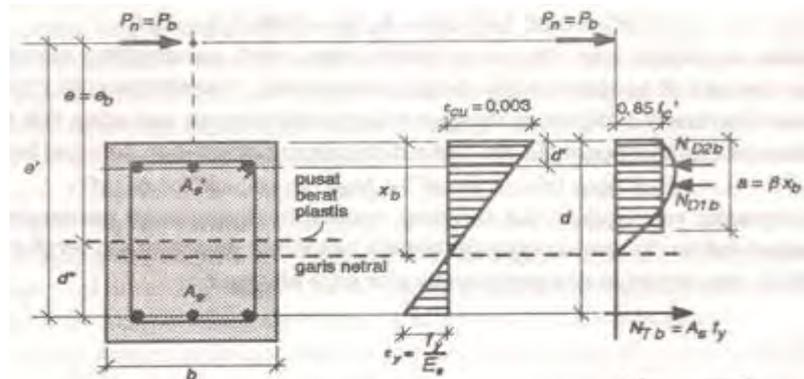
tersebut tetap harus menyesuaikan dengan ketentuan SK SNI T-1 5-1991-03, mengenai batas maksimum kuat beban aksial kolom, Pn (maks).

(a) Penampang Kolom Bertulangan Seimbang

Seperti yang disajikan dalam contoh-contoh terdahulu, di dalam praktik perencanaan kolom umumnya digunakan penulangan simetris, di mana penulangan pada kedua sisi yang berhadapan sama jumlahnya. Tujuan utamanya mencegah kesalahan atau kekeliruan penempatan tulangan yang dipasang. Penulangan simetris juga diperlukan apabila ada kemungkinan terjadinya gaya bolak-balik pada struktur, misalnya karena arah gaya angin atau gempa. Kuat beban aksial sentris nominal atau teoretis untuk suatu penampang kolom pada hakekatnya adalah merupakan penjumlahan kontribusi kuat beton (Ag – Ast)0,85 fc'dan kuat tulangan baja Ast fy. Luas penampang tulangan baja Ast adalah jumlah seluruh tulangan pokok memanjang. Karena yang bekerja adalah beban sentris dianggap keseluruhan penampang termasuk tulangan pokok memanjang menahan gaya desak secara merata. Dengan sendirinya pada penampang seperti ini tidak terdapat garis netral yang memisahkan daerah tarik dan daerah tekan. Apabila beban aksial tekan bekerja eksentris terhadap sumbu kolom barulah timbul tegangan yang tidak merata pada penampang, bahkan pada nilai eksentrisitas tertentu dapat mengakibatkan timbulnya tegangan tarik. Dengan demikian penampang kolom terbagi menjadi daerah tekan dan tarik, demikian pula tugas penulangan baja dibedakan sebagai tulangan baja tekan (As') yang dipasang di daerah tekan dan tulangan baja tarik (As) yang dipasang di daerah tarik.

Berdasarkan regangan yang terjadi pada batang tulangan baja, awal kehancuran atau keruntuhan penampang kolom dapat dibedakan menjadi dua kondisi, yaitu; (1) kehancuran karena tarik, diawali dengan lelehnya batang tulangan tarik, dan (2) kehancuran karena tekan, diawali dengan hancurnya beton tekan.

Keadaan penampang kolom penulangan seimbang adalah sama seperti yang telah ditetapkan definisinya untuk balok. Jumlah tulangan baja tarik sedemikian sehingga letak garis netral tepat pada posisi saat mana akan terjadi secara bersamaan regangan leleh pada tulangan baja tarik

dan regangan beton desak maksimum 0,003. Kondisi keseimbangan regangan tersebut menempati posisi penting karena merupakan pembatas antara dua keadaan penampang kolom beton bertulang yang berbeda dalam cara hancurnya, yaitu hancur karena tarik dan hancur karena tekan.

Gambar 31. Keadaan Keseimbangan Regangan

Dengan demikian kondisi keseimbangan regangan merupakan indikator yang sangat berguna dalam menentukan cara hancurnya. Setiap penampang kolom akan seimbang pada suatu beban Pb tertentu dikombinasikan dengan suatu eksentrisitas θb tertentu. Maka pada penulangan baja berlainan akan diperoleh beban seimbang berdasarkan keseimbangan regangan yang berlainan pula, meskipun untuk penampang kolom beton yang sama.

Awal keruntuhan kolom dengan eksentrisitas besar terjadi dengan didahului lelehnya batang tulangan tarik. Seperti telah dikemukakan di atas, peralihan dan keadaan hanur karena tekan ke hancur karena tarik terjadi pada saat e = θb. Apabila terdapat e > θb atau Pn < Pnb akan terjadi kehancuran karena tarik yang diawali dengan lelehnya batang tulangan tarik. Dengan menggunakan penampang persegi seperti pada Gambar 31. keadaan keseimbangan regangan memberikan:

$$\frac{Cb}{d} = \frac{0{,}003}{\frac{fy}{Es} + 0{,}003}$$

dengan memasukkan nilal Es = 200.000 MPa, maka didapat:

$$Cb = \frac{0{,}003\,(d)}{\frac{fy}{200.000} + 0{,}003} = \frac{600\,(d)}{600 + fy}$$

keseimbangan gaya-gaya mensyaratkan:

$Pb = N_{D1b} + N_{D2b} – N_{Tb}$

dimana

N_{D1b} = 0,85 fc’ a b = 0,85 fc’ β C_b b

N_{D2b} = As’ fy

N_{DT} = As fy

apabila baja tulangan tekan telah meleleh pada keadaan keseimbangan regangan, maka:

N_{D2b} = As’ (fc’ – 0,85 fc’)

dengan demikian persamaan keseimbangan gaya-gaya menjadi:

Pb 0,85 fc’ β_1 $_{cb}$ b + As’(f— 0,85 fc’) - As fy

Eksentrisitas θb diukur dari titik pusat plastis dan untuk penampang simetris titik pusat plastisnya berada di tengah-tengah tinggi penampang. Keseimbangan rotasi gaya-gaya dalam pada Gambar 31 dipenuhi dengan mengambil momen terhadap titik sebarang, andaikata diambil dan titik pusat plastis maka didapatkan persamaan sebagal berikut:

Pb = N_{D1b} (d- ½ a – d”) + N_{D2b} (d – d’ – d”) + N_{Tb} d”

Titik pusat plastis merupakan titik tangkap resultante perlawanan penampang kolom terhadap beban tekan dengan anggapan bahwa betonnya ditegangkan teratur sampai mencapai 0,85 fc’ dan bajanya ditegangkan teratur juga hingga fy.

(b) Strktur Kolom Eksentrisitas Besar

Peraturan terdahulu (PBI 1971) memberikan ketentuan bahwa setiap struktur bangunan beton bertulang bertingkat harus mempunyai kolom-kolom dengan kekakuan yang sedemikian rupa sehingga untuk setiap pembebanan, stabilitas struktur secara keseluruhan, tetap terjamin. Stabilitas struktur dapat diperhitungkan dengan meninjau tekuk pada setiap kolom satu persatu (tekuk parsial) seperti halnya pada kolom-kolom tunggaL Memperhitungkan tekuk parsial kolom-kolom dapat dilakukan dengan menerapkan eksentrisitas tambahan pada

eksentrisitas awal gaya normal kolom. Sehingga kepada eksentrisitas awal, gaya normal kolom masih harus ditambahkan pula eksentrisitas-eksentrisitas tambahan, masing-masing untuk memperhitungkan pengaruh tekuk, ketidak-tepatan sumbu kolom terhadap sumbu sistem, dan untuk memperoleh peningkatan keamanan bagi kolom-kolom dengan eksentrisitas awal yang semakin kecil. Apabila menurut hitungan suatu kolom secara teoretik hanya mendukung gaya aksial sentris, eksentrisitas tambahan tersebut tetap harus diperhitungkan. Demikian pula peraturan-peraturan beton dan berbagai negara lain juga memberikan ketentuan sama, bahwa komponen tekan struktur harus direncanakan dengan menerapkan eksentrisitas awal minimum tertentu. Ketentuan tersebut dimaksudkan sebagai jalan tengah untuk mendapatkan pengurangan kuat rencana beban aksial penampang kolom pada beban tekan murni. Pengaruh syarat penggunaan eksentrisitas awal minimum tersebut dengan sendirinya memberikan pembatasan terhadap kuat tekan aksial nominal maksimum.

Seperti yang telah dibahas pada bagian terdahl, kuat beban aksial nominal maksimum diberikan melalui persamaan (3.3.1) dan (3.3.2) SK SNI T-15-1991-03. Kedua persamaan tersebut memberikan batas bahwa apabila terhadap suatu komponen struktur kolom pengaruh kelangsingan diabaikan, kuat aksial nominal maksimum Pn(maks) tidak boleh melebihi 0,80 Po untuk kolom berpengikat sengkang, dan 0,85 Po dengan pengikat spiral. Dengan ketentuan tersebut, berarti sekaligus diberikan pula pembatasan eksentrisitas minimum yang harus diperhitungkan. Untuk kolom dengan eksentrisitas besar, kedua persamaan tersebut tidak lagi dapat digunakan. Sedangkan untuk komponen struktur kolom dengan rasio kelangsingan cukup tinggi memerlukan peninjauan pengaruh tekuk terhadap panjangnya. Evaluasi pendekatan dengan pembesaran momen terfaktor harus diperhitungkan dengan menggunakan eksentrisitas minimum sebesar (15 + 0,03h) mm, baik untuk kolom berpengikat sengkang maupun spiral terhadap masing-masing sumbu utama secara terpisah. Kekuatan nominal Pn yang diperoleh tidak boleh melampaui nilai Pn (maks). Eksentrisitas minimum dapat ditimbulkan oleh kekangan di ujung komponen karena sistem menggunakan hubungan monolit dengan

komponen struktur lainnya. Sedangkan eksentrisitas tidak terduga dapat timbul akibat pelaksaniaan pekerjaan di titik-titik buhul.

(c) Analisis Kolom Pendek Eksentrisitas Besar

Langkah pertama analisis kolom pendek dengan beban aksial eksentrisitas besar adalah menentukan kuat kolom dengan penampang tertentu yang menopang berbagai kombinasi beban dan exsentrisitasnya. Di dalam pelaksanaannya dilakukan dengan mencari nilai

kuat beban aksial ϕPn dimana Pn adalah kuat beban aksial nominal atau kuat beban aksial teoretis pada eksentrisitas tertentu.

Contoh Perhitungan

Tentukan kuat beban aksia! ϕPn suatu kolom persegi dengan pengikat sengkang untuk berbagal kondisi berikut: (a) eksentrisitas kecil, (b) momen murni, (C) e = 125 mm, (d) keadaan penampang seimbang. Dimensi penampang melintang kolom: b = 350 mm, h = 500 mm, d = d' =60 mm, A = 3029, A' = 3D29, berupa kolom pendek, tinjauan lenturan terhadap sumbu Y-Y (sumbu pendek), fc'=3O MPa, dan fy = 400 MPa.

Penyelesaian

a) Eksentrisitas kecil:.1 dan 9.2 terdahulu.

ϕPn = ϕPn (maks)

= 0,80 ϕ {0,85 fc' (Ag – Ast) + fy Ast}

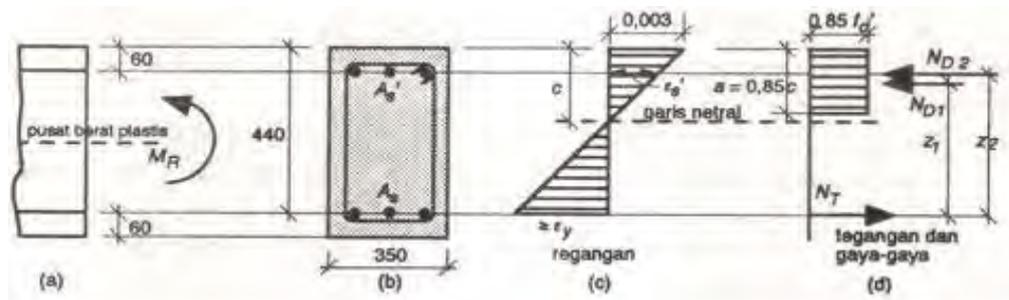
= 0,80 (0,65) {0,85 (30) (175000 – 3963,2) + 400 (3963,2)} $(10)^{-3}$

= 3092 kN

b) Momen murni:

Merupakan kasus di mana eksentrisitas beban tak terhingga. Karena Pu dan ϕPn keduanya bernilai no!, dicari kuat momen Mr.

Dengan mengacu pada Gambar 32.d, perlu diperhatikan bahwa dalam kasus momen murni, batang tulangan baja yang letaknya pada sisi di pihak mana resultante beban bekerja (sesuai arah momen) merupakan batang tekan, sedangkan yang berada pada sisi berhadapan lainnya

merupakan batang tarik. Dalam rangka memenuhi keseimbangan gaya-gaya, jumlah gaya tarik selalu harus sama dengan jumlah gaya tekan.

Gambar 32. Contoh Perhitungan

Apabila dikehendaki As = As', maka As' harus pada kondisi tegangan yang lebih rendah dari tegangan Leleh, sedangkan As dianggap berada pada tegangan leleh.

N_{D1} = gaya tekan beton

N_{D2} = gaya tekan baja tulangan

N_T = gaya tank baja tulangan

Dengan mengacu pada diagram regangan di Gambar 32.c, didapatkan persamaan:

$$\varepsilon_s' = \frac{0{,}003\,(c-60)}{c} \quad \text{karena} \quad fs' = Es\ \varepsilon_s$$

Dengan subsitusi, didapat:

$$f_s' = \frac{200000\,(c-60)}{c} = \frac{600\,(c-60)}{c}$$

keseimbangan yang didapat dari gambar 32 d:

$N_{D1} + N_{D2} = N_T$

dengan melakukan substitusi dan memperhitungkan luas beton yang ditempati batang tulangan tekan, didapat persamaan sebagai benikut:

(0,85fc')(0,85c(b) + fs' Ast - 0,85fc' (Ast) = fy As

$0{,}85\ (30)\ (0{,}85)\ (350) + \dfrac{600\,(c-60)}{c}(1981{,}6) - 0{,}85\ (30)\ (1981{,}) = 400\ (1981{,}6)$

dengan menyelesaikan persamaan tersebut didapatkan nilai c = 77 mm selanjutnya didapatkan,

$$f_s' = \frac{600\,(77-60)}{77} = 132{,}47\ MPa \ \text{(tekan)}$$

masing-masing gaya adalah:

N_{D1} = 0,85fc' (0,85)cb 0,85(30)(0,85)(77)(350)(10)3 584,141 kN

Beton ditempati baja = 0,85fc'As'= 0,85(30)(1981,6)$(10)^{-3}$ = - 50,531 kN

N_{D2} = tfs' As' = 132,47(1981,6)$(10)^{-3}$= 262,502 kN

N_{D1} - 50,531 + N_{D2} = 796,112 kN

N_T = fy As = 400(1981,6)$(10)^{-3}$ = 792,64 kN

kesalahan berupa selisih kecil antara hasil (ND1 - 50,531 + N_{D2} dan N_T diabaikan.

Kopel momen dalam:

$Mn_{(1)}$ = N_{D1} z1 = 584,141 [440—0,85(1/2)(77)](1 0)-3 = 237,906 kNm

$Mn_{(2)}$ = $N_{D2}Z_2$ = (262,502 — 50,531)(380)(10)—3= 80,549 kNm

Mn = $Mn_{(1)}$ + $Mn_{(2)}$ = 237,906 + 80,549 = 318,455 kNm

Dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan untuk kolom berpengikat sengkang 0,65 dan untuk kasus ini mengabaikan ketentuan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.3. ayat 2(b), maka didapatkan kuat momen:

Mr = ϕ Mn = 0,65 (318,455) = 206,996 kNm

c) θ = 125 mm

Pada analisis bagian (a) seluruh batang tulangan baja dalam keadaan tekan. Sedangkan pada analisis bagian (b) batang tulangan baja, yang terletak di daerah bukan di pihak bekerjanya beban (sesuai arah momen), dalam keadaan tarink. Dengan demikian, dapat dicari nilai eksentnisitas pada saat mana batang tulangan mengalami peralihan dari keadaan tarik menjadi tekan. Oleh karena nilal eksentrisitas yang dimaksud belum diketahui, keadaan regangani dianggap seperti yang tergambar pada Gambar 33, yang untuk kemudian dibetulkan apabila perlu.

Anggapan-anggapan pada keadaan beban batas runtuh adalah:

a) regangan beton maksimum 0,003
b) apabila $\varepsilon_s' > \varepsilon_y$, derigan demikian fs'= fy
c) ε_s adalah tarik.
d) apabila $\varepsilon_s' > \varepsilon_y$, dengan demikian fs'< fy,

Selanjutnya dilakukan evaluasi besarnya gaya tekan dan tarik di mana bilangan yang belum diketahui ialah Pn dan c. Gaya N_{D2} adalah gaya yang bekerja pada batang tulangan desak termasuk memperhitungkan pengurangan gaya tekan beton seluas As' karena ditempati oleh tulangan baja tekan, sedangkan N_T adalah gaya tarik total pada tulangan.

N_{D1} = 0,85fc' a b = 0,85(30)(0,85c)(350) = 7586,25 c

N_{D2} = fy As' - 0,85 fc' As'= As' (fy - 0,85fc')

= 1981,6 [400 - 0,85 (30)] = 742109

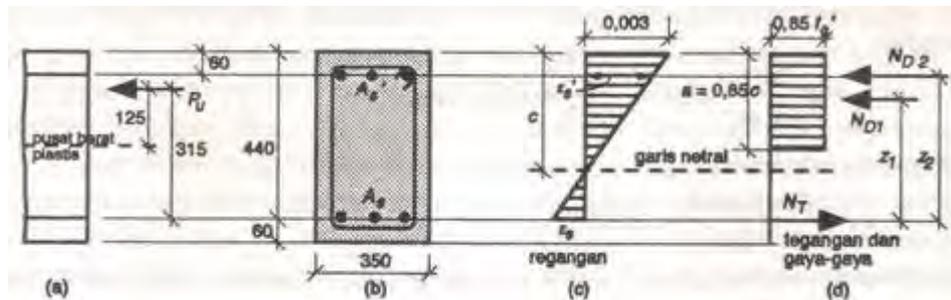
N_T = fs As = $\varepsilon_s \; Es \; As = \frac{600\,(d-c)}{c}(As)$

$= \frac{600\,(440-c)}{c}(1981{,}6) = \frac{1188960\,(440-c)}{c}$

Keseimbangan gaya, (gaya) = 0, lihat Gambar 33:

Pn = N_{D1} + N_{D2} - N_T = 7586,25 c +742109 - $\frac{1188960\,(440-c)}{c}$

Keseimbangan momen terhadap N_T, $\sum$ (momen) = 0:

Pn (315) = N_{D1} (d – ½ a) + N_{D2} (380)

Gambar 33. Contoh Perhitungan

$$Pn = \frac{1}{315}\left\{7586{,}25\,c\left(440 - \frac{0{,}85\,c}{2}\right) + 742109\,(380)\right\}$$

Penyelesian untuk Pn dari kedua persamaan tersebut di atas menghasilkan persamaan pangkat tiga dari c, dan dengan teknik penyelesaian iterasi akan didapat nilai c = 380 mm. dengan nilai c = 380 mm, disubsitsikan ke dalam persamaan didapatkan Pn = 3436 kN sehingga :

$$\Phi Pn = 0{,}65\,(3436) = 2233\;kN$$

Tabel A-5 Luas Penampang Tulangan Baja Permeter Panjang Plat

Batang (mm)	Luas Penampang (mm2)								
	Jarak Spasi pusat ke pusat atau k.p.k (mm)								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
6	565.5	282.7	188.5	141.4	113.1	94.2	80.8	70.7	62.8
8	1005.3	502.7	335.1	251.3	201.1	167.6	143.6	125.7	111.7
9	1272.3	636.2	424.1	318.1	254.5	212.1	181.8	159.0	141.4
10	1570.8	785.4	523.6	392.7	314.2	261.8	224.4	196.3	174.5
12	2261.9	1131.0	754.0	565.5	452.4	377.0	323.1	282.7	251.3
13	2654.6	1327.3	884.9	663.7	530.9	442.4	379.2	331.8	294.9
14	3078.8	1539.4	1028.3	769.7	615.8	513.1	439.8	384.8	342.1
16	4021.2	2010.6	1340.4	1005.3	804.2	670.2	574.5	502.7	446.8
18	5089.4	2544.7	1696.5	1272.3	1017.9	848.2	727.1	636.2	565.5
19	5670.6	2835.3	1890.2	1417.6	1134.1	945.1	810.1	708.8	630.1
20	6283.2	3141.6	2094.4	1570.8	1256.6	1047.2	897.6	785.4	698.1
22		3801.3	2534.2	1900.7	1520.5	1267.1	1086.1	950.3	844.7
25		4908.7	3272.5	2454.4	1963.5	1636.2	1402.5	1227.2	1090.8
28		6157.5	4105.0	3078.8	2463.0	2052.5	1759.3	1539.4	1368.3
29		6605.2	4403.5	3302.6	2642.1	2201.7	1887.2	1651.3	1467.8
32		8042.5	5361.7	4021.2	3217.0	2680.8	2297.9	2010.6	1787.2
36			6785.8	5089.4	4071.5	3392.9	2908.2	2544.7	2261.9
40			8377.6	6283.2	5026.5	4188.8	3590.4	3141.6	2792.5
50			13090	9817.5	7854.0	6545.0	5609.9	4908.7	4363.3

Tabel A-6 Konstanta Perencanaan

Tulangan Baja			Mutu Beton					
Mutu Baja BJTP BJTD	fy	ρ_{min}	fc' = 17 $\beta_1 = 0{,}85$		fc' = 20 $\beta_1 = 0{,}85$		fc' =25 $\beta_1 = 0{,}85$	
			ρ_{maks}	ρ_{sm}	ρ_{maks}	ρ_{sm}	ρ_{maks}	ρ_{sm}
24	240	0,0058	0,0274	0,0132	0,0323	0,0156	0,0403	0,0198
30	300	0,0047	0,0205	0,0107	0,0241	0,0127	0,0301	0,0159
35	350	0,0040	0,0166	0,0093	0,0196	0,0107	0,0244	0,0132
40	400	0,0035	0,0138	0,0083	0,0163	0,0092	0,0203	0,0117
50	500	0,0028	0,0100	0,0070	0,0118	0,0074	0,0148	0,0098
Tulangan Baja			Mutu Beton					
Mutu Baja BJTP BJTD	fy	ρ_{min}	fc' = 30 $\beta_1 = 0{,}85$		fc' = 35 $\beta_1 = 0{,}85$		fc' =40 $\beta_1 = 0{,}85$	
			ρ_{maks}	ρ_{sm}	ρ_{maks}	ρ_{sm}	ρ_{maks}	ρ_{sm}
24	240	0,0058	0,0484	0,0239	0,0538	0,0269	0,0584	0,0313
30	300	0,0047	0,0361	0,0195	0,0402	0,0221	0,0436	0,0251
35	350	0,0040	0,0293	0,0163	0,0326	0,0183	0,0354	0,0214
40	400	0,0035	0,0244	0,0142	0,0271	0,0160	0,0295	0,0185
50	500	0,0028	0,0177	0,0113	0,0197	0,0126	0,0214	0,0143

Keterangan: $\rho_{maks} = 0{,}75\rho_b$

$\rho_{sm} = \rho\ saran = nilai\ \rho\ yang\ disarankan\ untuk\ keperluan\ perkiraan$

TABEL A-8
RASIO PENULANGAN (ρ) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 17 Mpa, *fy*=240 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0058	1,3248	0,0102	2,2400	0,0146	3,0779	0,0190	3,8383	0,0234	4,5214
0,0059	1,3248	0,0103	2,2599	0,0147	3,0960	0,0191	3,8547	0,0235	4,5360
0,0060	1,3635	0,0104	2,2798	0,0148	3,1141	0,0192	3,8711	0,0236	4,5506
0,0061	1,3680	0,0105	2,2996	0,0149	3,1322	0,0193	3,8874	0,0237	4,5651
0,0062	1,3896	0,0106	2,3194	0,0150	3,1502	0,0194	3,9036	0,0238	4,5797
0,0063	1,4112	0,0107	2,3391	0,0151	3,1682	0,0195	3,9199	0,0239	4,5941
0,0064	1,4327	0,0108	2,3588	0,0152	3,1861	0,0196	3,9360	0,0240	4,6085
0,0065	1,4541	0,0109	2,3785	0,0153	3,2040	0,0197	3,9522	0,0241	4,6229
0,0066	1,4969	0,0110	2,3981	0,0154	3,2219	0,0198	3,9683	0,0242	4,6373
0,0067	1,5183	0,0111	2,4177	0,0155	3,2397	0,0199	3,9844	0,0243	4,6516
0,0068	1,5396	0,0112	2,4372	0,0156	3,2575	0,0200	3,0004	0,0244	4,6658
0,0069	1,5608	0,0113	2,4567	0,0157	3,2753	0,0201	4,0164	0,0245	4,6801
0,0070	1,5820	0,0114	2,4762	0,0158	3,2930	0,0202	4,0323	0,0246	4,6942
0,0071	1,6032	0,0115	2,4956	0,0159	3,3106	0,0203	4,0482	0,0247	4,7084
0,0072	1,6244	0,0116	2,5150	0,0160	3,3282	0,0204	4,0641	0,0248	4,7225
0,0073	1,6455	0,0117	2,5343	0,0161	3,3458	0,0205	4,0799	0,0249	4,7366
0,0074	1,6665	0,0118	2,5537	0,0162	3,3634	0,0206	4,0957	0,0250	4,7506
0,0075	1,6875	0,0119	2,5729	0,0163	3,3809	0,0207	4,1114	0,0251	4,7646
0,0076	1,7085	0,0120	2,5021	0,0164	3,3983	0,0208	4,1271	0,0252	4,7785
0,0077	1,7295	0,0121	2,6113	0,0165	3,4158	0,0209	4,1428	0,0253	4,7924
0,0078	1,7504	0,0122	2,6305	0,0166	3,4331	0,0210	4,1584	0,0254	4,8063
0,0079	1,7712	0,0123	2,6496	0,0167	3,4505	0,0211	4,1740	0,0255	4,8201
0,0080	1,7921	0,0124	2,6686	0,0168	3,4678	0,0212	4,1895	0,0256	4,8339
0,0081	1,8128	0,0125	2,6876	0,0169	3,4850	0,0213	4,2050	0,0257	4,8476
0,0082	1,8336	0,0126	2,7066	0,0170	3,5023	0,0214	4,2205	0,0258	4,7613
0,0083	1,8543	0,0127	2,7256	0,0171	3,5195	0,0215	4,2359	0,0259	4,8750
0,0084	1,8749	0,0128	2,7445	0,0172	3,5366	0,0216	4,2513	0,0260	4,8886
0,0085	1,8956	0,0129	2,7633	0,0173	3,5537	0,0217	4,2667	0,0261	4,9022
0,0086	1,9161	0,0130	2,7822	0,0174	3,5708	0,0218	4,2820	0,0262	4,9158
0,0087	1,9367	0,0131	2,8009	0,0175	3,5878	0,0219	4,2972	0,0263	4,9293
0,0088	1,9572	0,0132	2,8197	0,0176	3,6048	0,0220	4,3125	0,0264	4,9427
0,0089	1,9777	0,0133	2,8384	0,0177	3,6217	0,0221	4,3276	0,0265	4,9562
0,0090	1,9981	0,0134	2,8570	0,0178	3,6386	0,0222	4,3428	0,0266	4,9695
0,0091	2,0185	0,0135	2,8757	0,0179	3,6555	0,0223	4,3579	0,0267	4,9829
0,0092	2,0794	0,0136	2,8943	0,0180	3,6723	0,0224	4,3730	0,0268	4,9962
0,0093	2,0591	0,0137	2,9128	0,0181	3,4891	0,0225	4,3880	0,0269	5,0095
0,0094	2,0794	0,0138	2,9313	0,0182	3,7058	0,0226	4,4030	0,0270	5,0227
0,0095	2,0996	0,0139	2,9498	0,0183	3,7225	0,0227	4,4179	0,0271	5,0359
0,0096	2,1198	0,0140	2,9682	0,0184	3,7392	0,0228	4,4328	0,0272	5,0490
0,0097	2,1399	0,0141	2,9866	0,0185	3,7558	0,0229	4,4477	0,0273	5,0621
0,0098	2,1600	0,0142	3,0049	0,0186	3,7724	0,0230	4,4625	0,0274	5,0752
0,0099	2,1801	0,0143	3,0232	0,0187	3,7889	0,0231	4,4773		
0,0100	2,2001	0,0144	3,0415	0,0188	3,8055	0,0232	4,4920		
0,0101	2,2201	0,0145	3,0597	0,0189	3,8219	0,0233	4,5067		

TABEL A-9
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 20 Mpa, *fy*=240 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0058	1,3348	0,0102	2,2712	0,0146	3,1418	0,0190	3,9466	0,0234	4,6856
0,0059	1,3569	0,0103	2,2917	0,0147	3,1608	0,0191	3,9641	0,0235	4,7016
0,0060	1,3788	0,0104	2,3122	0,0148	3,1798	0,0192	3,9816	0,0236	4,7176
0,0061	1,4008	0,0105	2,3327	0,0149	3,1988	0,0193	3,9991	0,0237	4,7336
0,0062	1,4227	0,0106	2,3531	0,0150	3,2177	0,0194	4,0165	0,0238	4,7495
0,0063	1,4446	0,0107	2,3735	0,0151	3,2366	0,0195	4,0339	0,0239	4,7654
0,0064	1,4664	0,0108	2,3938	0,0152	3,2554	0,0196	4,0512	0,0240	4,7813
0,0065	1,4882	0,0109	2,4141	0,0153	3,2742	0,0197	4,0686	0,0241	4,7971
0,0066	1,5100	0,0110	2,4344	0,0154	3,2930	0,0198	4,0858	0,0242	4,8129
0,0067	1,5317	0,0111	2,4546	0,0155	3,3118	0,0199	4,4031	0,0243	4,8286
0,0068	1,5534	0,0112	2,4749	0,0156	3,3306	0,0200	4,1203	0,0244	4,8444
0,0069	1,5751	0,0113	2,4950	0,0157	3,3492	0,0201	4,1375	0,0245	4,8601
0,0070	1,5967	0,0114	2,5152	0,0158	3,3678	0,0202	4,1547	0,0246	4,8757
0,0071	1,6083	0,0115	2,5353	0,0159	3,3864	0,0203	4,1718	0,0247	4,8913
0,0072	1,6399	0,0116	2,5554	0,0160	3,4050	0,0204	4,1889	0,0248	4,9069
0,0073	1,6614	0,0117	2,5754	0,0161	3,4236	0,0205	4,2059	0,0249	4,9225
0,0074	1,6830	0,0118	2,5954	0,0162	3,4421	0,0206	4,2229	0,0250	4,9380
0,0075	1,7044	0,0119	2,6154	0,0163	3,4605	0,0207	4,2399	0,0251	4,9535
0,0076	1,7259	0,0120	2,6353	0,0164	3,4790	0,0208	4,2569	0,0252	4,9689
0,0077	1,7473	0,0121	2,6552	0,0165	3,4974	0,0209	4,2738	0,0253	4,9844
0,0078	1,7686	0,0122	2,6751	0,0166	3,5158	0,0210	4,2907	0,0254	4,9997
0,0079	1,7900	0,0123	2,6949	0,0167	3,5341	0,0211	4,3075	0,0255	5,0151
0,0080	1,8113	0,0124	2,7147	0,0168	3,5524	0,0212	4,3243	0,0256	5,0304
0,0081	1,8325	0,0125	2,7345	0,0169	3,5707	0,0213	4,3411	0,0257	5,0457
0,0082	1,8370	0,0126	2,7542	0,0170	3,5889	0,0214	4,3578	0,0258	5,0609
0,0083	1,8749	0,0127	2,7739	0,0171	3,6071	0,0215	4,3745	0,0259	5,0762
0,0084	1,8961	0,0128	2,7936	0,0172	3,6253	0,0216	4,3912	0,0260	5,0913
0,0085	1,9172	0,0129	2,8132	0,0173	3,6434	0,0217	4,4079	0,0261	5,1065
0,0086	1,9383	0,0130	2,8328	0,0174	3,6616	0,0218	4,4245	0,0262	5,1216
0,0087	1,9596	0,0131	2,7524	0,0175	3,6796	0,0219	4,4410	0,0263	5,1367
0,0088	1,9804	0,0132	2,8719	0,0176	3,6977	0,0220	4,4576	0,0264	5,1517
0,0089	2,0014	0,0133	2,8914	0,0177	3,7157	0,0221	4,4741	0,0265	5,1667
0,0090	2,0224	0,0134	2,9109	0,0178	3,7336	0,0222	4,4706	0,0266	5,1817
0,0091	2,0433	0,0135	2,9303	0,0179	3,7514	0,0223	4,5070	0,0267	5,1967
0,0092	2,0642	0,0136	2,9497	0,0180	3,7695	0,0224	4,5234	0,0268	5,2116
0,0093	2,0850	0,0137	2,9691	0,0181	3,7873	0,0225	4,5398	0,0269	5,2264
0,0094	2,1059	0,0138	2,9884	0,0182	3,8052	0,0226	4,5561	0,0270	5,2413
0,0095	2,1266	0,0139	3,0077	0,0183	3,8230	0,0227	4,5724	0,0271	5,2561
0,0096	2,1474	0,0140	3,0270	0,0184	3,8407	0,0228	4,5887	0,0272	5,2709
0,0097	2,1681	0,0141	3,4620	0,0185	3,8584	0,0229	4,6049	0,0273	5,2856
0,0098	2,1888	0,0142	3,0654	0,0186	3,8761	0,0230	4,6211	0,0274	5,3003
0,0099	2,2095	0,0143	3,0845	0,0187	3,8938	0,0231	4,6373	0,0275	5,3150
0,0100	2,2301	0,0144	3,1037	0,0188	3,9114	0,0232	4,6534	0,0276	5,3296
0,0101	2,2507	0,0145	3,1227	0,0189	3,9290	0,0233	4,6695	0,0277	5,3442

TABEL A-9 (lanjutan)
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 20 Mpa, *fy*=240 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0278	5,3588	0,0288	5,5026	0,0298	5,6430	0,0308	5,7801	0,0318	5,7137
0,0279	5,3733	0,0289	5,5168	0,0299	5,6569	0,0309	5,7936	0,0319	5,9269
0,0280	5,3878	0,0290	5,5310	0,0300	5,6707	0,0310	5,8071	0,0320	5,9400
0,0281	5,4023	0,0291	5,5451	0,0301	5,6845	0,0311	5,8205	0,0321	5,9531
0,0282	5,4167	0,0292	5,5592	0,0302	5,6983	0,0312	5,8339	0,0322	5,5662
0,0283	5,4311	0,0293	5,5733	0,0303	5,7120	0,0313	5,8473	0,0323	5,9792
0,0284	5,4455	0,0294	5,5873	0,0304	5,7257	0,0314	5,8607		
0,0285	5,4598	0,0295	5,6013	0,0305	5,7393	0,0315	5,8740		
0,0286	5,4741	0,0296	5,6152	0,0306	5,7529	0,0316	5,8872		
0,0287	5,4884	0,0297	5,6292	0,0307	5,7665	0,0317	5,9005		

TABEL A-10
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 25 Mpa, *fy*=240 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0058	1,3463	0,0084	1,9201	0,0110	2,4755	0,0136	3,0126	0,0162	3,5312
0,0059	1,3487	0,0085	1,9418	0,0111	2,4965	0,0137	3,0329	0,0163	3,5508
0,0060	1,3911	0,0086	1,9635	0,0112	2,5175	0,0138	3,0531	0,0164	3,5704
0,0061	1,4134	0,0087	1,9851	0,0113	2,5384	0,0139	3,0734	0,0165	3,5899
0,0062	1,4357	0,0088	2,0067	0,0114	2,5593	0,0140	3,0936	0,0166	3,6094
0,0063	1,4580	0,0089	2,0283	0,0115	2,5802	0,0141	3,1137	0,0167	3,4289
0,0064	1,4803	0,0090	2,0499	0,0116	2,6011	0,0142	3,1339	0,0168	3,6483
0,0065	1,5026	0,0091	2,0714	0,0117	2,6219	0,0143	3,1540	0,0169	3,6678
0,0066	1,5248	0,0092	2,0929	0,0118	2,6427	0,0144	3,1741	0,0170	3,6871
0,0067	1,5470	0,0093	2,1144	0,0119	2,6635	0,0145	3,1942	0,0171	3,7065
0,0068	1,5691	0,0094	2,1359	0,0120	2,6843	0,0146	3,2142	0,0172	3,7258
0,0069	1,5913	0,0095	2,0000	0,0121	2,7050	0,0147	3,2343	0,0173	3,7452
0,0070	1,6134	0,0096	2,1573	0,0122	2,7257	0,0148	3,2542	0,0174	3,7644
0,0071	1,6355	0,0097	2,2001	0,0123	2,7463	0,0149	3,2742	0,0175	3,7837
0,0072	1,6575	0,0098	2,2214	0,0124	2,4700	0,0150	3,2841	0,0176	3,8029
0,0073	1,6796	0,0099	2,2428	0,0125	2,7876	0,0151	3,3141	0,0177	3,8221
0,0074	1,7016	0,0100	2,2641	0,0126	2,8082	0,0152	3,3339	0,0178	3,8413
0,0075	1,7235	0,0101	2,2853	0,0127	2,8287	0,0153	3,3538	0,0179	3,8604
0,0076	1,7455	0,0102	2,3066	0,0128	2,8493	0,0154	3,3736	0,0180	3,8796
0,0077	1,7674	0,0103	2,3278	0,0129	2,8698	0,0155	3,3934	0,0181	3,8987
0,0078	1,7893	0,0104	2,3490	0,0130	2,8903	0,0156	3,4132	0,0182	3,9177
0,0079	1,8112	0,0105	2,3701	0,0131	2,9107	0,0157	3,4329	0,0183	3,9368
0,0080	1,8330	0,0106	2,3913	0,0132	2,9311	0,0158	3,4526	0,0184	3,9558
0,0081	1,8548	0,0107	2,4124	0,0133	2,9515	0,0159	3,4723	0,0185	3,9748
0,0082	1,8766	0,0108	2,4334	0,0134	2,9719	0,0160	3,4920	0,0186	3,9937
0,0083	1,8984	0,0109	2,4545	0,0135	2,9923	0,0161	3,5116	0,0187	4,0126

TABEL A-10 (lanjutan)
RASIO PENULANGAN (ρ) va KOEFISIEN TAHANAN (k)
(fc' = 25 Mpa, fy=240 Mpa, k dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0188	4,0315	0,0232	4,9363	0,0276	5,5885	0,0320	6,2880	0,0364	6,9349
0,0189	4,0504	0,0233	4,8540	0,0277	5,6050	0,0321	6,3033	0,0365	6,9490
0,0190	4,0693	0,0234	4,8717	0,0278	5,5214	0,0322	6,3186	0,0366	6,9311
0,0191	4,0881	0,0235	4,8893	0,0279	5,5379	0,0323	6,3338	0,0367	6,9771
0,0192	4,1069	0,0236	4,9069	0,0280	5,6543	0,0324	6,3490	0,0368	6,9911
0,0193	4,1257	0,0237	4,9245	0,0281	5,6706	0,0325	6,3642	0,0369	7,0051
0,0194	4,1444	0,0238	4,9420	0,0282	5,6870	0,0326	6,3793	0,0370	7,0190
0,0195	4,1631	0,0239	4,9595	0,0283	5,7033	0,0327	6,3944	0,0371	7,0330
0,0196	4,1818	0,0240	4,9770	0,0284	5,7196	0,0328	6,4095	0,0372	7,0469
0,0197	4,2004	0,0241	4,9945	0,0285	5,7359	0,0329	6,4246	0,0373	7,0607
0,0198	4,2191	0,0242	5,0119	0,0286	5,7521	0,0330	6,4095	0,0374	7,0746
0,0199	4,2377	0,0243	5,0293	0,0287	5,7683	0,0331	6,4246	0,0375	7,0884
0,0200	4,2563	0,0244	5,0467	0,0288	5,7845	0,0332	6,4397	0,0376	7,1022
0,0201	4,2748	0,0245	5,0640	0,0289	5,8006	0,0333	6,4547	0,0377	7,1160
0,0202	4,2933	0,0246	5,0814	0,0290	5,8168	0,0334	6,4996	0,0378	7,1297
0,0203	4,3118	0,0247	5,0987	0,0291	5,8329	0,0335	6,5145	0,0379	7,1434
0,0204	4,3303	0,0248	5,1159	0,0292	5,8490	0,0336	6,5293	0,0380	7,1571
0,0205	4,3487	0,0249	5,1332	0,0293	5,8450	0,0337	6,5442	0,0381	7,1707
0,0206	4,3471	0,0250	5,1504	0,0294	5,8810	0,0338	6,5590	0,0382	7,1844
0,0207	4,3855	0,0251	5,1676	0,0295	5,8970	0,0339	6,5738	0,0383	7,7980
0,0208	4,4039	0,0252	5,1848	0,0296	5,9430	0,0340	6,5886	0,0384	7,2115
0,0209	4,4222	0,0253	5,2019	0,0297	5,9289	0,0341	6,6003	0,0385	7,2251
0,0210	4,4405	0,0254	5,2190	0,0298	5,9448	0,0342	6,6180	0,0386	7,2386
0,0211	4,4588	0,0255	5,2361	0,0299	5,9607	0,0343	6,6327	0,0387	7,2521
0,0212	4,4770	0,0256	5,2531	0,0300	5,9766	0,0344	6,6474	0,0388	7,2756
0,0213	4,4953	0,0257	5,2702	0,0301	5,9924	0,0345	6,6620	0,0389	7,2890
0,0214	4,5135	0,0258	5,2872	0,0302	6,0082	0,0346	6,6760	0,0390	7,2824
0,0215	4,5316	0,0259	5,3041	0,0303	6,0240	0,0347	6,6912	0,0391	7,3058
0,0216	4,5498	0,0260	5,3211	0,0304	6,0397	0,0348	6,7058	0,0392	7,3192
0,0217	4,6579	0,0261	5,3380	0,0305	6,0555	0,0349	6,7203	0,0393	7,3325
0,0218	4,5860	0,0262	5,3549	0,0306	6,0711	0,0350	6,7348	0,0394	7,3458
0,0219	4,6040	0,0263	5,3717	0,0307	6,0868	0,0351	6,7493	0,0395	7,3591
0,0220	4,6221	0,0264	5,3886	0,0308	6,1025	0,0352	6,7637	0,0396	7,3723
0,0221	4,6401	0,0265	5,4054	0,0309	6,1181	0,0353	6,7781	0,0397	7,3855
0,0222	4,6581	0,0266	5,4222	0,0310	6,1337	0,0354	6,7925	0,0398	7,3987
0,0223	4,6760	0,0267	5,4389	0,0311	6,1492	0,0355	6,8069	0,0399	7,4119
0,0224	4,6939	0,0268	5,4557	0,0312	6,1647	0,0356	6,8212	0,0400	7,4250
0,0225	4,7118	0,0269	5,4724	0,0313	6,1802	0,0357	6,8355	0,0401	7,4381
0,0226	4,7297	0,0270	5,4890	0,0314	6,1987	0,0358	6,8498	0,0402	7,4512
0,0227	4,7475	0,0271	5,5057	0,0315	6,2112	0,0359	6,8640	0,0403	7,4643
0,0228	4,7654	0,0272	5,5223	0,0316	6,2266	0,0360	6,8783		
0,0229	4,7831	0,0273	5,5389	0,0317	6,2420	0,0361	6,8925		
0,0230	4,8009	0,0274	5,5554	0,0318	6,2574	0,0362	6,9066		
0,0231	4,8786	0,0275	5,5720	0,0319	6,2727	0,0363	6,9200		

TABEL A-11
RASIO PENULANGAN (ρ) va KOEFISIEN TAHANAN (k)
(fc' = 30 Mpa, fy=240 Mpa, k dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0058	1,3539	0,0102	2,3301	0,0146	3,2625	0,0190	4,1511	0,0234	4,9957
0,0059	1,3766	0,0103	2,3518	0,0147	3,2832	0,0191	4,1707	0,0235	5,0144
0,0060	1,3992	0,0104	2,3735	0,0148	3,3039	0,0192	4,1904	0,0236	5,0331
0,0061	1,4217	0,0105	2,3951	0,0149	3,3245	0,0193	4,2100	0,0237	5,0517
0,0062	1,4445	0,0106	2,4167	0,0150	3,3451	0,0194	4,2297	0,0238	5,0703
0,0063	1,4670	0,0107	2,4383	0,0151	3,3657	0,0195	4,2493	0,0239	5,0889
0,0064	1,7896	0,0108	2,4599	0,0152	3,3863	0,0196	4,2688	0,0240	5,1075
0,0065	1,5121	0,0109	2,4814	0,0153	3,4068	0,0197	4,2884	0,0241	5,1261
0,0066	1,5347	0,0110	2,5029	0,0154	3,4273	0,0198	4,3079	0,0242	5,1446
0,0067	1,5571	0,0111	2,5244	0,0155	3,4478	0,0199	4,3274	0,0243	5,1631
0,0068	1,5796	0,0112	2,5459	0,0156	3,4683	0,0200	4,3469	0,0244	5,1816
0,0069	1,7021	0,0113	2,5674	0,0157	3,4638	0,0201	4,3663	0,0245	5,2000
0,0070	1,6245	0,0114	2,5550	0,0158	3,4888	0,0202	4,3858	0,0246	5,2185
0,0071	1,6469	0,0115	2,6402	0,0159	3,5092	0,0203	4,4052	0,0247	5,2369
0,0072	1,6693	0,0116	2,6316	0,0160	3,5500	0,0204	4,4246	0,0248	5,2553
0,0073	1,6916	0,0117	2,6529	0,0161	3,5704	0,0205	4,4439	0,0249	5,2737
0,0074	1,7140	0,0118	2,6743	0,0162	3,5907	0,0206	4,4633	0,0250	5,2920
0,0075	1,7363	0,0119	2,6956	0,0163	3,6110	0,0207	4,4826	0,0251	5,3103
0,0076	1,7586	0,0120	2,7169	0,0164	3,6313	0,0208	4,5019	0,0252	5,3286
0,0077	1,7808	0,0121	2,7381	0,0165	3,6516	0,0209	4,5212	0,0253	5,3469
0,0078	1,8030	0,0122	2,7594	0,0166	3,6718	0,0210	4,5404	0,0254	5,3652
0,0079	1,8253	0,0123	2,7806	0,0167	3,6921	0,0211	4,5597	0,0255	5,3834
0,0080	1,8475	0,0124	2,8018	0,0168	3,7123	0,0212	4,5789	0,0256	5,4016
0,0081	1,8697	0,0125	2,8230	0,0169	3,7325	0,0213	4,5981	0,0257	5,4198
0,0082	1,8918	0,0126	2,8442	0,0170	3,7526	0,0214	4,6172	0,0258	5,4380
0,0083	1,8760	0,0127	2,8653	0,0171	3,7728	0,0215	4,6364	0,0259	5,4561
0,0084	1,9361	0,0128	2,8864	0,0172	3,7929	0,0216	4,6555	0,0260	5,4742
0,0085	1,9582	0,0129	2,9075	0,0173	3,8130	0,0217	4,6746	0,0261	5,4923
0,0086	1,9802	0,0130	2,9286	0,0174	3,8330	0,0218	4,6936	0,0262	5,5104
0,0087	2,0023	0,0131	2,9496	0,0175	3,8531	0,0219	4,7127	0,0263	5,5285
0,0088	2,0243	0,0132	2,9706	0,0176	3,8731	0,0220	4,7317	0,0264	5,5465
0,0089	2,0463	0,0133	2,9916	0,0177	3,8931	0,0221	4,7507	0,0265	5,6450
0,0090	2,0682	0,0134	3,0126	0,0178	3,9131	0,0222	4,7697	0,0266	5,5825
0,0091	2,0902	0,0135	3,0325	0,0179	3,9330	0,0223	4,7887	0,0267	5,6004
0,0092	2,1121	0,0136	3,0545	0,0180	3,9530	0,0224	4,8076	0,0268	5,6184
0,0093	2,1340	0,0137	3,0754	0,0181	3,9729	0,0225	4,7265	0,0269	5,6363
0,0094	2,1559	0,0138	3,0963	0,0182	3,9928	0,0226	4,8454	0,0270	5,6542
0,0095	2,1778	0,0139	3,1171	0,0183	4,0126	0,0227	4,8643	0,0271	5,6721
0,0096	2,1996	0,0140	3,1380	0,0184	4,0325	0,0228	4,8831	0,0272	5,6899
0,0097	2,2214	0,0141	3,1588	0,0185	4,0523	0,0229	4,9019	0,0273	5,7077
0,0098	2,2432	0,0142	3,1796	0,0186	4,0721	0,0230	4,8207	0,0274	5,7255
0,0099	2,2650	0,0143	3,2004	0,0187	4,0919	0,0231	4,9395	0,0275	5,7433
0,0100	2,2867	0,0144	3,2211	0,0188	4,1116	0,0232	4,9583	0,0276	5,7611
0,0101	2,3084	0,0145	3,2418	0,0189	4,1314	0,0233	4,9770	0,0277	5,7788

TABEL A-11 (lanjutan)
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 30 Mpa, *fy*=240 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0278	5,7965	0,0320	6,5200	0,0362	7,2035	0,0404	7,8471	0,0446	8,4507
0,0279	5,8142	0,0321	6,5368	0,0363	7,2193	0,0405	7,8619	0,0447	8,4646
0,0280	5,8319	0,0322	6,5535	0,0364	7,2351	0,0406	7,8767	0,0448	8,4784
0,0281	5,8495	0,0323	6,5702	0,0365	7,2508	0,0407	7,8915	0,0449	8,4923
0,0282	5,8672	0,0324	6,5868	0,0366	7,2665	0,0408	7,9063	0,0450	8,5061
0,0283	5,8848	0,0325	6,6035	0,0367	7,2822	0,0409	7,9210	0,0451	8,5199
0,0284	5,9023	0,0326	6,6201	0,0368	7,2979	0,0410	7,9358	0,0452	8,5336
0,0285	5,9199	0,0327	6,6367	0,0369	7,3136	0,0411	7,9505	0,0453	8,5474
0,0286	5,9374	0,0328	6,6533	0,0370	7,3292	0,0412	7,9651	0,0454	8,5611
0,0287	5,9549	0,0329	6,6698	0,0371	7,3448	0,0413	7,9798	0,0455	8,5748
0,0288	5,9724	0,0330	6,6864	0,0372	7,3604	0,0414	7,9944	0,0456	8,5885
0,0289	5,9899	0,0331	6,7029	0,0373	7,3759	0,0415	8,0090	0,0457	8,6022
0,0290	6,0073	0,0332	6,7194	0,0374	7,3915	0,0416	8,0236	0,0458	8,6158
0,0291	6,0247	0,0333	6,7358	0,0375	7,4070	0,0417	8,0382	0,0459	8,6294
0,0292	6,0421	0,0334	6,7523	0,0376	7,4225	0,0418	8,0527	0,0460	8,6430
0,0293	6,0595	0,0335	6,7687	0,0377	7,4380	0,0419	8,0672	0,0461	8,6566
0,0294	6,0769	0,0336	6,7851	0,0378	7,4534	0,0420	8,0817	0,0462	8,6701
0,0295	6,0942	0,0337	6,8015	0,0379	7,4688	0,0421	8,0962	0,0463	8,6836
0,0296	6,1115	0,0338	6,8178	0,0380	7,4842	0,0422	8,1107	0,0464	8,6971
0,0297	6,1288	0,0339	6,8342	0,0381	7,4996	0,0423	8,1251	0,0465	8,7106
0,0298	6,1460	0,0340	6,8505	0,0382	7,5150	0,0424	8,1395	0,0466	8,7241
0,0299	6,1633	0,0341	6,8668	0,0383	7,5303	0,0425	8,1539	0,0467	8,7375
0,0300	6,1805	0,0342	6,8830	0,0384	7,5456	0,0426	8,1682	0,0468	8,7509
0,0301	6,1977	0,0343	6,8993	0,0385	7,5609	0,0427	8,1826	0,0469	8,7643
0,0302	6,2148	0,0344	6,9155	0,0386	7,5762	0,0428	8,1969	0,0470	8,7776
0,0303	6,2320	0,0345	6,9317	0,0387	7,5914	0,0429	8,2112	0,0471	8,7910
0,0304	6,2491	0,0346	6,9479	0,0388	7,6066	0,0430	8,2255	0,0472	8,8043
0,0305	6,2662	0,0347	6,9640	0,0389	7,6218	0,0431	8,2397	0,0473	8,8176
0,0306	6,2833	0,0348	6,9801	0,0390	7,6370	0,0432	8,2539	0,0474	8,8309
0,0307	6,3003	0,0349	6,9962	0,0391	7,6522	0,0433	8,2681	0,0475	8,8441
0,0308	6,3174	0,0350	7,0123	0,0392	7,6673	0,0434	8,2823	0,0476	8,8573
0,0309	6,3344	0,0351	7,0284	0,0393	7,6824	0,0435	8,2965	0,0477	8,3706
0,0310	6,3514	0,0352	7,0444	0,0394	7,6975	0,0436	8,3106	0,0478	8,8837
0,0311	6,3683	0,0353	7,0604	0,0395	7,7125	0,0437	8,3247	0,0479	8,8969
0,0312	6,3853	0,0354	7,0764	0,0396	7,7276	0,0438	8,3388	0,0480	8,9100
0,0313	6,4022	0,0355	7,0924	0,0397	7,7426	0,0439	8,3529	0,0481	8,9231
0,0314	6,4191	0,0356	7,1083	0,0398	7,7576	0,0440	8,3669	0,0482	8,9362
0,0315	6,4360	0,0357	7,1243	0,0399	7,7726	0,0441	8,3809	0,0483	8,9493
0,0316	6,4528	0,0358	7,1402	0,0400	7,7875	0,0442	8,3949	0,0484	8,9623
0,0317	6,4697	0,0359	7,1560	0,0401	7,8024	0,0443	8,4089		
0,0318	6,4865	0,0360	7,1719	0,0402	7,8173	0,0444	8,4228		
0,0319	6,5033	0,0361	7,1877	0,0403	7,8322	0,0445	8,4368		

TABEL A-12
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 35 Mpa, *fy*=240 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0058	1,3593	0,0102	2,3470	0,0146	3,2970	0,0190	4,2095	0,0234	5,0843
0,0059	1,3822	0,0103	2,3690	0,0147	3,3182	0,0191	4,2298	0,0235	5,1038
0,0060	1,4050	0,0104	2,3910	0,0148	3,3393	0,0192	4,2501	0,0236	5,1232
0,0061	1,4279	0,0105	2,4130	0,0149	3,3604	0,0193	4,2703	0,0237	5,1426
0,0062	1,4507	0,0106	2,4349	0,0150	3,3815	0,0194	4,2906	0,0238	5,1620
0,0063	1,4735	0,0107	2,4568	0,0151	3,4026	0,0195	4,3108	0,0239	5,1814
0,0064	1,4962	0,0108	2,4787	0,0152	3,4237	0,0196	4,3310	0,0240	5,2007
0,0065	1,5190	0,0109	2,5006	0,0153	3,4447	0,0197	4,3512	0,0241	5,2201
0,0066	1,5417	0,0110	2,5225	0,0154	3,4657	0,0198	4,3713	0,0242	5,2394
0,0067	1,5644	0,0111	2,5444	0,0155	3,4867	0,0199	4,3915	0,0243	5,2587
0,0068	1,5871	0,0112	2,5662	0,0156	3,5077	0,0200	4,4116	0,0244	5,2779
0,0069	1,6098	0,0113	2,5880	0,0157	3,5287	0,0201	4,4317	0,0245	5,2972
0,0070	1,6324	0,0114	2,6098	0,0158	3,5496	0,0202	4,4518	0,0246	5,3164
0,0071	1,6551	0,0115	2,6316	0,0159	3,5705	0,0203	4,4719	0,0247	5,3356
0,0072	1,6777	0,0116	2,6533	0,0160	3,5914	0,0204	4,4919	0,0248	5,3548
0,0073	1,7003	0,0117	2,6751	0,0161	3,6123	0,0205	4,5119	0,0249	5,3740
0,0074	1,7228	0,0118	2,6968	0,0162	3,6332	0,0206	4,5320	0,0250	5,3931
0,0075	1,7454	0,0119	2,7185	0,0163	3,6540	0,0207	4,5519	0,0251	5,4123
0,0076	1,7679	0,0120	2,7402	0,0164	3,6748	0,0208	4,5719	0,0252	5,4314
0,0077	1,7904	0,0121	2,7618	0,0165	3,6957	0,0209	4,5919	0,0253	5,4505
0,0078	1,8129	0,0122	2,7835	0,0166	3,7164	0,0210	4,61 10	0,0254	5,4696
0,0079	1,8354	0,0123	2,8051	0,0167	3,7372	0,0211	4,6317	0,0255	5,4886
0,0080	1,8579	0,0124	2,8267	0,0168	3,7580	0,0212	4,6516	0,0256	5,5077
0,0081	1,8803	0,0125	2,8483	0,0169	3,7787	0,0213	4,6715	0,0257	5,5267
0,0082	1,9027	0,0126	2,8698	0,0170	3,7994	0,0214	4,6913	0,0258	5,5457
0,0083	1,9251	0,0127	2,8914	0,0171	3,8201	0,0215	4,7112	0,0259	5,5647
0,0084	1,9475	0,0128	2,9129	0,0172	3,8407	0,0216	4,7310	0,0260	5,5836
0,0085	1,9698	0,0129	2,9344	0,0173	3,8614	0,0217	4,7508	0,0261	5,6026
0,0086	1,9922	0,0130	2,9559	0,0174	3,8820	0,0218	4,7706	0,0262	5,6215
0,0087	2,0145	0,0131	2,9774	0,0175	3,9026	0,0219	4,7903	0,0263	5,6404
0,0088	2,0368	0,0132	2,9988	0,0176	3,9232	0,0220	4,8100	0,0264	5,6593
0,0089	2,0591	0,0133	3,0202	0,0177	3,9438	0,0221	4,8298	0,0265	5,6781
0,0090	2,0814	0,0134	3,0417	0,0178	3,9644	0,0222	4,8495	0,0266	5,6970
0,0091	2,1036	0,0135	3,0630	0,0179	3,9849	0,0223	4,8691	0,0267	5,7158
0,0092	2,1258	0,0136	3,0844	0,0180	4,0054	0,0224	4,8888	0,0268	5,7346
0,0093	2,1480	0,0137	3,1058	0,0181	4,0259	0,0225	4,9084	0,0269	5,7534
0,0094	2,1702	0,0138	3,1271	0,0182	4,0464	0,0226	4,9281	0,0270	5,7722
0,0095	2,1924	0,0139	3,1484	0,0183	4,0668	0,0227	4,9477	0,0271	5,7909
0,0096	2,2145	0,0140	3,1697	0,0184	4,0873	0,0228	4,9673	0,0272	5,8096
0,0097	2,2366	0,0141	3,1910	0,0185	4,1077	0,0229	4,9868	0,0273	5,8283
0,0098	2,2587	0,0142	3,2122	0,0186	4,1281	0,0230	5,0064	0,0274	5,8470
0,0099	2,2808	0,0143	3,2334	0,0187	4,1485	0,0231	5,0259	0,0275	5,8657
0,0100	2,3029	0,0144	3,2547	0,0188	4,1688	0,0232	5,0454	0,0276	5,8844
0,0101	2,3250	0,0145	3,2759	0,0189	4,1892	0,0233	5,0649	0,0277	5,9030

TABEL A-12 (lanjutan)
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 35 Mpa, *fy*=240 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0278	5,9216	0,0322	6,7213	0,0366	7,4833	0,0410	8,2078	0,0454	8,8947
0,0279	5,9402	0,0323	6,7390	0,0367	7,5002	0,0411	8,2238	0,0455	8,9098
0,0280	5,9588	0,0324	6,7567	0,0368	7,5171	0,0412	8,2398	0,0456	8,9250
0,0281	5,9773	0,0325	6,7744	0,0369	7,5339	0,0413	8,2558	0,0457	8,9401
0,0282	5,9958	0,0326	6,7921	0,0370	7,5507	0,0414	8,2718	0,0458	8,9553
0,0283	6,0144	0,0327	6,8097	0,0371	7,5675	0,0415	8,2877	0,0459	8,9703
0,0284	6,0329	0,0328	6,8274	0,0372	7,5843	0,0416	8,3037	0,0460	8,9854
0,0285	6,0513	0,0329	6,8450	0,0373	7,6011	0,0417	8,3196	0,0461	9,0005
0,0286	6,0698	0,0330	6,8626	0,0374	7,6178	0,0418	8,3355	0,0462	9,0155
0,0287	6,0882	0,0331	6,8802	0,0375	7,6346	0,0419	8,3514	0,0463	9,0305
0,0288	6,1066	0,0332	6,8978	0,0376	7,6513	0,0420	8,3672	0,0464	9,0455
0,0289	6,1250	0,0333	6,9153	0,0377	7,6680	0,0421	8,3830	0,0465	9,0605
0,0290	6,1434	0,0334	6,9328	0,0378	7,6846	0,0422	8,3989	0,0466	9,0755
0,0291	6,1618	0,0335	6,9503	0,0379	7,7013	0,0423	8,4147	0,0467	9,0904
0,0292	6,1801	0,0336	6,9678	0,0380	7,7179	0,0424	8,4304	0,0468	9,1053
0,0293	6,1984	0,0337	6,9853	0,0381	7,7345	0,0425	8,4462	0,0469	9,1202
0,0294	6,2167	0,0338	7,0027	0,0382	7,7511	0,0426	8,4619	0,0470	9,1351
0,0295	6,2350	0,0339	7,0201	0,0383	7,7677	0,0427	8,4776	0,0471	9,1500
0,0296	6,2533	0,0340	7,0376	0,0384	7,7842	0,0428	8,4933	0,0472	9,1648
0,0297	6,2715	0,0341	7,0549	0,0385	7,8008	0,0429	8,5090	0,0473	9,1797
0,0298	6,2897	0,0342	7,0723	0,0386	7,8173	0,0430	8,5247	0,0474	9,1945
0,0299	6,3079	0,0343	7,0897	0,0387	7,8338	0,0431	8,5403	0,0475	9,2092
0,0300	6,3261	0,0344	7,1070	0,0388	7,8503	0,0432	8,5559	0,0476	9,2240
0,0301	6,3443	0,0345	7,1243	0,0389	7,8667	0,0433	8,5715	0,0477	9,2388
0,0302	6,3624	0,0346	7,1416	0,0390	7,8832	0,0434	8,5871	0,0478	9,2535
0,0303	6,3806	0,0347	7,1589	0,0391	7,8996	0,0435	8,6027	0,0479	9,2682
0,0304	6,3987	0,0348	7,1761	0,0392	7,9160	0,0436	8,6182	0,0480	9,2829
0,0305	6,4168	0,0349	7,1933	0,0393	7,9323	0,0437	8,6337	0,0481	9,2976
0,0306	6,4348	0,0350	7,2106	0,0394	7,9487	0,0438	8,6492	0,0482	9,3122
0,0307	6,4529	0,0351	7,2278	0,0395	7,9650	0,0439	8,6647	0,0483	9,3268
0,0308	6,4709	0,0352	7,2449	0,0396	7,9814	0,0440	8,6802	0,0484	9,3414
0,0309	6,4889	0,0353	7,2621	0,0397	7,9977	0,0441	8,6956	0,0485	9,3560
0,0310	6,5069	0,0354	7,2792	0,0398	8,0139	0,0442	8,7111	0,0486	9,3706
0,0311	6,5249	0,0355	7,2963	0,0399	8,0302	0,0443	8,7265	0,0487	9,3852
0,0312	6,5428	0,0356	7,3134	0,0400	8,0464	0,0444	8,7419	0,0488	9,3997
0,0313	6,5607	0,0357	7,3305	0,0401	8,0627	0,0445	8,7572	0,0489	9,4142
0,0314	6,5787	0,0358	7,3476	0,0402	8,0789	0,0446	8,7726	0,0490	9,4287
0,0315	6,5966	0,0359	7,3646	0,0403	8,0951	0,0447	8,7879	0,0491	9,4432
0,0316	6,6144	0,0360	7,3816	0,0404	8,1112,	0,0448	8,8032	0,0492	9,4576
0,0317	6,6323	0,0361	7,3986	0,0405	8,1274	0,0449	8,8185	0,0493	9,4721
0,0318	6,6501	0,0362	7,4156	0,0406	8,1435	0,0450	8,8338	0,0494	9,4665
0,0319	6,6679	0,0363	7,4326	0,0407	8,1596	0,0451	8,8490	0,0495	9,5009
0,0320	6,6857	0,0364	7,4495	0,0408	8,1757	0,0452	8,8643	0,0496	9,5153
0,0321	6,7035	0,0365	7,4664	0,0409	8,1917	0,0453	8,8795	0,0497	9,5296

TABEL A-13 (lanjutan)
RASIO PENULANGAN (ρ) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 40 Mpa, *fy*=240 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0413	8,4628	0,0448	9,0468	0,0483	9,6100	0,0518	10,1520	0,0553	10,6730
0,0414	8,4798	0,0449	9,0632	0,0484	9,6258	0,0519	10,1670	0,0554	10,6880
0,0415	8,4968	0,0450	9,0796	0,0485	9,6415	0,0520	10,1820	0,0555	10,7030
0,0416	8,5137	0,0451	9,0959	0,0486	9,6573	0,0521	10,1970	0,0556	10,7170
0,0417	8,5306	0,0452	9,1122	0,0487	9,6730	0,0522	10,2130	0,0557	10,7320
0,0418	8,5475	0,0453	9,1285	0,0488	9,6887	0,0523	10,2260	0,0558	10,7460
0,0419	8,5644	0,0454	9,1448	0,0489	9,7044	0,0524	10,2430	0,0559	10,7610
0,0420	8,5813	0,0455	9,1611	0,0490	9,7201	0,0525	10,2580	0,0560	10,7750
0,0421	8,5982	0,0456	9,1774	0,0491	9,7358	0,0526	10,2730	0,0561	10,7900
0,0422	8,6150	0,0457	9,1936	0,0492	9,7514	0,0527	10,2880	0,0562	10,8040
0,0423	8,6318	0,0458	9,2098	0,0493	9,7671	0,0528	10,3030	0,0563	10,8190
0,0424	8,6486	0,0459	9,2261	0,0494	9,7827	0,0529	10,3180	0,0564	10,8330
0,0425	8,6654	0,0460	9,2422	0,0495	9,7983	0,0530	10,2000	0,0565	10,8470
0,0426	8,6822	0,0461	9,2584	0,0496	9,8138	0,0531	10,3480	0,0566	10,8620
0,0427	8,6989	0,0462	9,2746	0,0497	9,8294	0,0532	10,3630	0,0567	10,8760
0,0428	8,7157	0,0463	9,2907	0,0498	9,8450	0,0533	10,3780	0,0568	10,8910
0,0429	8,7324	0,0464	9,3068	0,0499	9,8605	0,0534	10,3930	0,0569	10,9050
0,0430	8,7491	0,0465	9,3230	0,0500	9,8760	0,0535	10,4080	0,0570	10,9190
0,0431	8,7658	0,0466	9,3390	0,0501	9,8915	0,0536	10,4230	0,0571	10,9340
0,0432	8,7824	0,0467	9,3551	0,0502	9,9070	0,0537	10,4380	0,0572	10,9480
0,0433	8,7991	0,0468	9,3712	0,0503	9,9224	0,0538	10,4520	0,0573	10,9620
0,0434	8,8157	0,0469	9,3872	0,0504	9,9379	0,0539	10,4670	0,0574	10,9760
0,0435	8,6654	0,0470	9,4032	0,0505	9,9533	0,0540	10,4820	0,0575	10,9910
0,0436	8,8489	0,0471	9,4192	0,0506	9,9687	0,0541	10,4970	0,0576	11,0050
0,0437	8,8655	0,0472	9,4352	0,0507	9,9841	0,0542	10,5120	0,0577	11,0190
0,0438	8,8821	0,0473	9,4512	0,0508	9,9995	0,0543	10,5270	0,0578	11,0330
0,0439	8,8986	0,0474	9,4672	0,0509	10,0140	0,0544	10,5410	0,0579	11,0470
0,0440	8,9152	0,0475	9,4831	0,0510	10,0300	0,0545	10,5560	0,0580	11,0610
0,0441	8,9317	0,0476	9,4990	0,0511	10,0450	0,0546	10,5710	0,0581	11,0760
0,0442	8,9482	0,0477	9,5149	0,0512	10,0600	0,0547	10,5850	0,0582	11,0900
0,0443	8,9647	0,0478	9,5308	0,0513	10,0760	0,0548	10,6000	0,0583	11,1040
0,0444	8,9811	0,0479	9,5467	0,0514	10,0910	0,0549	10,6150	0,0584	11,1180
0,0445	8,9976	0,0480	9,5625	0,0515	10,1060	0,0550	10,6300		
0,0446	9,0140	0,0481	9,5784	0,0516	10,1210	0,0551	10,6440		
0,0447	9,0304	0,0482	9,5942	0,0517	10,1370	0,0552	10,6590		

BEL A-14
RASIO PENULANGAN (ρ) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 17 Mpa, *fy*=300 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0047	1,3410	0,0079	2,1751	0,0111	2,9451	0,0143	3,6513	0,0175	4,2934
0,0048	1,3680	0,0080	2,2001	0,0112	2,9682	0,0144	3,6723	0,0176	4,3125
0,0049	1,3950	0,0081	2,2251	0,0113	2,9912	0,0145	3,6933	0,0177	4,3314
0,0050	1,4219	0,0082	2,2500	0,0114	3,0141	0,0146	3,7142	0,0178	4,3503
0,0051	1,4488	0,0083	2,2748	0,0115	3,0369	0,0147	3,7350	0,0179	4,3692
0,0052	1,4755	0,0084	2,2996	0,0116	3,0597	0,0148	3,7558	0,0180	4,3880
0,0053	1,5023	0,0085	2,3243	0,0117	3,0824	0,0149	3,7765	0,0181	4,4067
0,0054	1,5289	0,0086	2,3490	0,0118	3,1051	0,0150	3,7972	0,0182	4,4254
0,0055	1,5555	0,0087	2,3736	0,0119	3,1277	0,0151	3,8178	0,0183	4,4440
0,0056	1,5820	0,0088	2,3981	0,0120	3,1502	0,0152	3,8383	0,0184	4,4625
0,0057	1,6085	0,0089	2,4226	0,0121	3,1727	0,0153	3,8588	0,0185	4,4810
0,0058	1,6349	0,0090	2,4470	0,0122	3,1951	0,0154	3,8792	0,0186	4,4994
0,0059	1,6613	0,0091	2,4713	0,0123	3,2174	0,0155	3,8996	0,0187	4,5177
0,0060	1,6876	0,0092	2,4956	0,0124	3,2397	0,0156	3,9199	0,0188	4,5360
0,0061	1,7138	0,0093	2,5198	0,0125	3,2619	0,0157	3,9401	0,0189	4,5542
0,0062	1,7399	0,0094	2,5440	0,0126	3,2841	0,0158	3,9602	0,0190	4,5724
0,0063	1,7660	0,0095	2,5681	0,0127	3,3062	0,0159	3,9803	0,0191	4,5905
0,0064	1,7921	0,0096	2,5921	0,0128	3,3282	0,0160	4,0004	0,0192	4,6085
0,0065	1,8180	0,0097	2,6161	0,0129	3,3502	0,0161	4,0203	0,0193	4,6265
0,0066	1,8439	0,0098	2,6400	0,0130	3,3721	0,0162	4,0403	0,0194	4,6444
0,0067	1,8698	0,0099	2,6639	0,0131	3,3940	0,0163	4,0601	0,0195	4,6623
0,0068	1,8956	0,0100	2,6876	0,0132	3,4158	0,0164	4,0799	0,0196	4,6801
0,0069	1,9213	0,0101	2,7114	0,0133	3,4375	0,0165	4,0996	0,0197	4,6978
0,0070	1,9469	0,0102	2,7350	0,0134	3,4591	0,0166	4,1193	0,0198	4,7155
0,0071	1,9725	0,0103	2,7586	0,0135	3,4807	0,0167	4,1389	0,0199	4,7331
0,0072	1,9981	0,0104	2,7822	0,0136	3,5023	0,0168	4,1584	0,0200	4,7506
0,0073	2,0235	0,0105	2,8056	0,0137	3,5237	0,0169	4,1779	0,0201	4,7681
0,0074	2,0490	0,0106	2,8290	0,0138	3,5452	0,0170	4,1973	0,0202	4,7855
0,0075	2,0743	0,0107	2,8524	0,0139	3,5665	0,0171	4,2166	0,0203	4,8028
0,0076	2,0996	0,0108	2,8757	0,0140	3,5878	0,0172	4,2359	0,0204	4,8201
0,0077	2,1248	0,0109	2,8989	0,0141	3,6090	0,0173	4,2552	0,0205	4,8373
0,0078	2,1500	0,0110	2,9221	0,0142	3,6302	0,0174	4,2743		

TABEL A-15
RASIO PENULANGAN (ρ) va KOEFISIEN TAHANAN (k)
(fc' = 20 Mpa, fy=300 Mpa, k dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0047	1,3514	0,0086	2,3836	0,0125	3,3352	0,0164	4,2059	0,0203	4,9959
0,0048	1,3788	0,0087	2,4090	0,0126	3,3585	0,0165	4,2272	0,0204	5,0151
0,0049	1,4063	0,0088	2,4344	0,0127	3,3818	0,0166	4,2484	0,0205	5,0342
0,0050	1,4336	0,0089	2,4597	0,0128	3,4050	0,0167	4,2695	0,0206	5,0533
0,0051	1,4609	0,0090	2,4849	0,0129	3,4282	0,0168	4,2907	0,0207	5,0724
0,0052	1,4882	0,0091	2,5101	0,0130	3,4513	0,0169	4,3117	0,0208	5,0913
0,0053	1,5154	0,0092	2,5353	0,0131	3,4744	0,0170	4,3327	0,0209	5,1103
0,0054	1,5426	0,0093	2,5604	0,0132	3,4974	0,0171	4,3537	0,0210	5,1291
0,0055	1,5697	0,0094	2,5854	0,0133	3,5204	0,0172	4,3745	0,0211	5,1480
0,0056	1,5957	0,0095	2,6104	0,0134	3,5433	0,0173	4,3954	0,0212	5,1667
0,0057	1,6227	0,0096	2,6353	0,0135	3,5661	0,0174	4,4162	0,0213	5,1855
0,0058	1,6507	0,0097	2,6602	0,0136	3,5889	0,0175	4,4369	0,0214	5,2041
0,0059	1,6776	0,0098	2,6850	0,0137	3,6117	0,0176	4,4575	0,0215	5,2227
0,0060	1,7044	0,0099	2,7098	0,0138	3,6344	0,0177	4,4782	0,0216	5,2413
0,0061	1,7312	0,0100	2,7345	0,0139	3,6570	0,0178	4,4988	0,0217	5,2598
0,0062	1,7579	0,0101	2,7592	0,0140	3,6796	0,0179	4,5193	0,0218	5,2782
0,0063	1,7845	0,0102	2,7838	0,0141	3,7022	0,0180	4,5398	0,0219	5,2966
0,0064	1,8113	0,0103	2,8083	0,0142	3,7246	0,0181	4,5602	0,0220	5,3150
0,0065	1,8378	0,0104	2,8328	0,0143	3,7471	0,0182	4,5806	0,0221	5,3333
0,0066	1,8643	0,0105	2,8573	0,0144	3,7695	0,0183	4,6009	0,0222	5,3515
0,0067	1,8908	0,0106	2,8817	0,0145	3,7918	0,0184	4,6211	0,0223	5,3697
0,0068	1,9172	0,0107	2,9060	0,0146	3,8141	0,0185	4,6413	0,0224	5,3878
0,0069	1,9436	0,0108	2,9303	0,0147	3,8363	0,0186	4,6615	0,0225	5,4059
0,0070	1,9699	0,0109	2,9546	0,0148	3,8584	0,0187	4,6816	0,0226	5,4239
0,0071	1,9962	0,0110	2,9787	0,0149	3,8806	0,0188	4,7016	0,0227	5,4419
0,0072	2,0224	0,0111	3,0029	0,0150	3,9026	0,0189	4,7216	0,0228	5,4598
0,0073	2,0485	0,0112	3,0270	0,0151	3,9246	0,0190	4,7415	0,0229	5,4777
0,0074	2,0746	0,0113	3,0510	0,0152	3,9466	0,0191	4,7614	0,0230	5,4955
0,0075	2,1007	0,0114	3,0750	0,0153	3,9685	0,0192	4,7813	0,0231	5,5133
0,0076	2,1266	0,0115	3,0989	0,0154	3,9903	0,0193	4,8010	0,0232	5,5310
0,0077	2,1526	0,0116	3,1227	0,0155	4,0121	0,0194	4,8208	0,0233	5,5486
0,0078	2,1735	0,0117	3,1466	0,0156	4,0339	0,0195	4,8404	0,0234	5,5662
0,0079	2,2043	0,0118	3,1703	0,0157	4,0556	0,0196	4,8601	0,0235	5,5838
0,0080	2,2301	0,0119	3,1940	0,0158	4,0772	0,0197	4,8796	0,0236	5,6013
0,0081	2,2558	0,0120	3,2177	0,0159	4,0988	0,0198	4,8991	0,0237	5,6187
0,0082	2,2815	0,0121	3,2413	0,0160	4,1203	0,0199	4,9186	0,0238	5,6361
0,0083	2,3071	0,0122	3,2648	0,0161	4,1418	0,0200	4,9380	0,0239	5,6534
0,0084	2,3327	0,0123	3,2883	0,0162	4,1632	0,0201	4,9574	0,0240	5,6707
0,0085	2,3582	0,0124	3,3118	0,0163	4,1846	0,0202	4,9767	0,0241	5,6879

TABEL A-16
RASIO PENULANGAN (ρ) va KOEFISIEN TAHANAN (k)
(fc' = 25 Mpa, fy=300 Mpa, k dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0047	1,3631	0,0091	2,5541	0,0135	3,6629	0,0179	4,6894	0,0223	5,6338
0,0048	1,3911	0,0092	2,5802	0,0136	3,6871	0,0180	4,7118	0,0224	5,6543
0,0049	1,4190	0,0093	2,6063	0,0137	3,7113	0,0181	4,7342	0,0225	5,6747
0,0050	1,4469	0,0094	2,6323	0,0138	3,7355	0,0182	4,7564	0,0226	5,6951
0,0051	1,4748	0,0095	2,6583	0,0139	3,7596	0,0183	4,7707	0,0227	5,7155
0,0052	1.S026	0,0096	2,6843	0,0140	3,7837	0,0184	4,8009	0,0228	5,7359
0,0053	1,5303	0,0097	2,7102	0,0141	3,8077	0,0185	4,8231	0,0229	5,7562
0,0054	1,5581	0,0098	2,7360	0,0142	3,8317	0,0186	4,8452	0,0230	5,7764
0,0055	1,5857	0,0099	2,7618	0,0143	3,8557	0,0187	4,8673	0,0231	5,7966
0,0056	1,6134	0,0100	2,7876	0,0144	3,8796	0,0188	4,8893	0,0232	5,8168
0,0057	1,6410	0,0101	2,8133	0,0145	3,9034	0,0189	4,9113	0,0233	5,8369
0,0058	1,0685	0,0102	2,8390	0,0146	3,9272	0,0190	4,9332	0,0234	5,8570
0,0059	1,6961	0,0103	2,8647	0,0147	3,9510	0,0191	4,9551	0,0235	5,8770
0,0060	1,7235	0,0104	2,8903	0,0148	3,9748	0,0192	4,9770	0,0236	5,8970
0,0061	1,7510	0,0105	2,9158	0,0149	3,9985	0,0193	4,9988	0,0237	5,9170
0,0062	1,7784	0,0106	2,9413	0,0150	4,0221	0,0194	5,0206	0,0238	5,9369
0,0063	1,8057	0,0107	2,9668	0,0151	4,0457	0,0195	5,0423	0,0239	5,9567
0,0064	1,8330	0,0108	2,9923	0,0152	4,0693	0,0196	5,0640	0,0240	5,9766
0,0065	1,8603	0,0109	3,0176	0,0153	4,0928	0,0197	5,0857	0,0241	5,9964
0,0066	1,8875	0,0110	3,0430	0,0154	4,1163	0,0198	5,1073	0,0242	6,0161
0,0067	1,9147	0,0111	3,0683	0,0155	4,1397	0,0199	5,1289	0,0243	6,0358
0,0068	1,9418	0,0112	3,0936	0,0156	4,1631	0,0200	5,1504	0,0244	6,0555
0,0069	1,9689	0,0113	3,1188	0,0157	4,1865	0,0201	5,1719	0,0245	6,0751
0,0070	1,9959	0,0114	3,1440	0,0158	4,2098	0,0202	5,1933	0,0246	6,0946
0,0071	2,0229	0,0115	3,1691	0,0159	4,2330	0,0203	5,2147	0,0247	6,1142
0,0072	2,0499	0,0116	3,1942	0,0160	4,2563	0,0204	5,2361	0,0248	6,1337
0,0073	2,0768	0,0117	3,2192	0,0161	4,2794	0,0205	5,2574	0,0249	6,1531
0,0074	2,1037	0,0118	3,2443	0,0162	4,3026	0,0206	5,2787	0,0250	6,1725
0,0075	2,1305	0,0119	3,2692	0,0163	4,3257	0,0207	5,2999	0,0251	6,1919
0,0076	2,1573	0,0120	3,2941	0,0164	4,3487	0,0208	5,3211	0,0252	6,2112
0,0077	2,1841	0,0121	3,3190	0,0165	4,3717	0,0209	5,3422	0,0253	6,2304
0,0078	2,2108	0,0122	3,3439	0,0166	4,3947	0,0210	5,3633	0,0254	6,2497
0,0079	2,2374	0,0123	3,3687	0,0167	4,4176	0,0211	5,3844	0,0255	6,2689
0,0080	2,2641	0,0124	3,3934	0,0168	4,4405	0,0212	5,4054	0,0256	6,2880
0,0081	2,2906	0,0125	3,4181	0,0169	4,4634	0,0213	5,4264	0,0257	6,3071
0,0082	2,3172	0,0126	3,4428	0,0170	4,4862	0,0214	5,4473	0,0258	6,3262
0,0083	2,3437	0,0127	3,4674	0,0171	4,5089	0,0215	5,4682	0,0259	6,3452
0,0084	2,3701	0,0128	3,4920	0,0172	4,5316	0,0216	5,4890	0,0260	6,3642
0,0085	2,3965	0,0129	3,5165	0,0173	4,5543	0,0217	5,5098	0,0261	6,3831
0,0086	2,4229	0,0130	3,5410	0,0174	4,5769	0,0218	5,5306	0,0262	6,4020
0,0087	2,4492	0,0131	3,5655	0,0175	4,5995	0,0219	5,5513	0,0263	6,4209
0,0088	2,4755	0,0132	3,5899	0,0176	4,6221	0,0220	5,5720	0,0264	6,4397
0,0089	2,5018	0,0133	3,6143	0,0177	4,6446	0,0221	5,5926	0,0265	6,4584
0,0090	2,5280	0,0134	3,6386	0,0178	4,6670	0,0222	5,6132	0,0266	6,4771

TABEL A-16 (lanjutan)
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 25 Mpa, *fy*=300 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0267	6,4958	0,0274	6,6254	0,0281	6,7529	0,0288	6,8783	0,0295	7,0016
0,0268	6,5145	0,0275	6,6437	0,0282	6,7709	0,0289	6,8960	0,0296	7,0190
0,0269	6,5331	0,0276	6,6620	0,0283	6,7889	0,0290	6,9137	0,0297	7,0364
0,0270	6,5516	0,0277	6,6803	0,0284	6,8069	0,0291	6,9314	0,0298	7,0538
0,0271	6,5701	0,0278	6,6985	0,0285	6,8248	0,0292	6,9590	0,0299	7,0711
0,0272	6,5886	0,0279	6,7167	0,0286	6,8427	0,0293	6,9666	0,0300	7,0884
0,0273	6,6070	0,0280	6,7348	0,0287	6,8605	0,0294	6,9841	0,0301	7,1056

TABEL A-17
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 30 Mpa, *fy*=300 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0047	1,3709	0,0076	2,1778	0,0105	2,9549	0,0134	3,4022	0,0163	4,4197
0,0048	1,3952	0,0077	2,2051	0,0106	2,9811	0,0135	3,4246	0,0164	4,4439
0,0049	1,4275	0,0078	2,2323	0,0107	3,0074	0,0136	3,4526	0,0165	4,4681
0,0050	1,4556	0,0079	2,2595	0,0108	3,0335	0,0137	3,4526	0,0166	4,4923
0,0051	1,4840	0,0080	2,2867	0,0109	3,0597	0,0138	3,7778	0,0167	4,5164
0,0052	1,5121	0,0081	2,3139	0,0110	3,0858	0,0139	3,8029	0,0168	4,5404
0,0053	1,5403	0,0082	2,3410	0,0111	3,1119	0,0140	3,8280	0,0169	4,5645
0,0054	1,5684	0,0083	2,3681	0,0112	3,1380	0,0141	3,8531	0,0170	4,5885
0,0055	1,5965	0,0084	2,3951	0,0113	3,1640	0,0142	3,9031	0,0171	4,6124
0,0056	1,6245	0,0085	2,4221	0,0114	3,1900	0,0143	3,9281	0,0172	4,6364
0,0057	1,6525	0,0086	2,4491	0,0115	3,2159	0,0144	3,9530	0,0173	4,6603
0,0058	1,6805	0,0087	2,4760	0,0116	3,2418	0,0145	3,9779	0,0174	4,6841
0,0059	1,7084	0,0088	2,5029	0,0117	3,2677	0,0146	4,0027	0,0175	4,7079
0,0060	1,7363	0,0089	2,5298	0,0118	3,2935	0,0147	4,0275	0,0176	4,7317
0,0061	1,7641	0,0090	2,5566	0,0119	3,3194	0,0148	4,0523	0,0177	4,7555
0,0062	1,7920	0,0091	2,5834	0,0120	3,3451	0,0149	4,0770	0,0178	4,7792
0,0063	1,8197	0,0092	2,6102	0,0121	3,3709	0,0150	4,1018	0,0179	4,8029
0,0064	1,8475	0,0093	2,6369	0,0122	3,3966	0,0151	4,1264	0,0180	4,8727
0,0065	1,8752	0,0094	2,6636	0,0123	3,4222	0,0152	4,1511	0,0181	4,8501
0,0066	1,9029	0,0095	2,6903	0,0124	3,4478	0,0153	4,1757	0,0182	4,8737
0,0067	1,9305	0,0096	2,7169	0,0125	3,4734	0,0154	4,2002	0,0183	4,8972
0,0068	1,9582	0,0097	2,7435	0,0126	3,4990	0,0155	4,2248	0,0184	4,9207
0,0069	1,9857	0,0098	2,7700	0,0127	3,5245	0,0156	4,2493	0,0185	4,9442
0,0070	2,0133	0,0099	2,7965	0,0128	3,5500	0,0157	4,2737	0,0186	4,9677
0,0071	2,0408	0,0100	2,8230	0,0129	3,5755	0,0158	4,2981	0,0187	4,9910
0,0072	2,0682	0,0101	2,8494	0,0130	3,6009	0,0159	4,3225	0,0188	5,0144
0,0073	2,0957	0,0102	2,8758	0,0131	3,6263	0,0160	4,3469	0,0189	5,0377
0,0074	2,1231	0,0103	2,9022	0,0132	3,6516	0,0161	4,3712	0,0190	5,0610
0,0075	2,1504	0,0104	2,9286	0,0133	3,6769	0,0162	4,3955	0,0191	5,0843

TABEL A-17 (lanjutan)
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 30 Mpa, *fy*=300 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0192	5,1075	0,0226	5,8760	0,0260	6,6035	0,0294	7,2901	0,0328	7,9358
0,0193	5,1307	0,0227	5,8979	0,0261	6,6243	0,0295	7,3097	0,0329	7,9541
0,0194	5,1538	0,0228	5,9199	0,0262	6,6450	0,0296	7,3292	0,0330	7,9725
0,0195	5,1770	0,0229	5,9418	0,0263	6,6657	0,0297	7,3487	0,0331	7,9903
0,0196	5,2000	0,0230	5,9637	0,0264	6,6864	0,0298	7,3682	0,0332	8,0090
0,0197	5,2231	0,0231	5,9855	0,0265	6,7070	0,0299	7,3876	0,0333	8,0273
0,0198	5,2461	0,0232	6,0073	0,0266	6,7276	0,0300	7,407	0,0334	8,0455
0,0199	5,2691	0,0233	6,0291	0,0267	6,7482	0,0301	7,4264	0,0335	8,0636
0,0200	5,2920	0,0234	6,0508	0,0268	6,7687	0,0302	7,4457	0,0336	8,0817
0,0201	5,3149	0,0235	6,0725	0,0269	6,7892	0,0303	7,465	0,0337	8,0887
0,0202	5,3378	0,0236	6,0942	0,0270	6,8097	0,0304	7,4842	0,0338	8,1179
0,0203	5,3606	0,0237	6,1158	0,0271	6,8301	0,0305	7,5035	0,0339	8,1359
0,0204	5,3834	0,0238	6,1374	0,0272	6,8505	0,0306	7,5226	0,0340	8,2610
0,0205	5,4062	0,0239	6,1590	0,0273	6,8708	0,0307	7,5418	0,0341	8,1718
0,0206	5,4289	0,0240	6,1805	0,0274	6,8912	0,0308	7,5609	0,0342	8,1897
0,0207	5,4516	0,0241	6,2020	0,0275	6,9114	0,0309	7,58	0,0343	8,2076
0,0208	5,4742	0,0242	6,2234	0,0276	6,9317	0,0310	7,599	0,0344	8,2255
0,0209	5,4968	0,0243	6,2448	0,0277	6,9519	0,0311	7,618	0,0345	8,2433
0,0210	5,5194	0,0244	6,2662	0,0278	6,9721	0,0312	7,637	0,0346	8,2610
0,0211	5,5420	0,0245	6,2876	0,0279	6,9922	0,0313	7,6559	0,0347	8,2788
0,0212	5,5645	0,0246	6,3089	0,0280	7,0123	0,0314	7,6749	0,0348	8,2965
0,0213	5,5870	0,0247	6,3301	0,0281	7,0324	0,0315	7,6937	0,0349	8,3141
0,0214	5,6094	0,0248	6,3514	0,0282	7,0524	0,0316	7,7125	0,0350	8,3318
0,0215	5,6318	0,0249	6,3726	0,0283	7,0724	0,0317	7,7313	0,0351	9,0000
0,0216	5,6542	0,0250	6,3938	0,0284	7,0924	0,0318	7,7501	0,0352	8,3669
0,0217	5,6765	0,0251	6,4149	0,0285	7,1123	0,0319	7,7688	0,0353	8,3644
0,0218	5,6988	0,0252	6,4360	0,0286	7,1322	0,0320	7,7875	0,0354	8,4019
0,0219	5,7211	0,0253	6,4570	0,0287	7,1521	0,0321	7,8062	0,0355	8,4194
0,0220	5,7433	0,0254	6,4781	0,0288	7,1719	0,0322	7,8248	0,0356	8,4368
0,0221	5,7655	0,0255	6,4991	0,0289	7,1917	0,0323	7,8434	0,0357	8,4542
0,0222	5,7877	0,0256	6,5200	0,0290	7,2114	0,0324	7,8619	0,0358	8,4715
0,0223	5,8098	0,0257	6,5409	0,0291	7,2311	0,0325	7,8804	0,0359	8,4888
0,0224	5,8319	0,0258	6,5618	0,0292	7,2508	0,0326	7,8989	0,0360	8,5061
0,0225	5,8539	0,0259	6,5827	0,0293	7,2705	0,0327	7,9174	0,0361	8,5233

TABEL A-18
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(= 35 Mpa, *fy*=300 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0047	1,3765	0,0091	2,6044	0,0135	3,7735	0,0179	4,8839	0,0223	5,9355
0,0048	1,4050	0,0092	2,6316	0,0136	3,7994	0,0180	4,9084	0,0224	5,9588
0,0049	1,4336	0,0093	2,6588	0,0137	3,8252	0,0181	4,9330	0,0225	5,9819
0,0050	1,4621	0,0094	2,6859	0,0138	3,8511	0,0182	4,9575	0,0226	6,0051
0,0051	1,4905	0,0095	2,7131	0,0139	3,8769	0,0183	4,9819	0,0227	6,0282
0,0052	1,5190	0,0096	2,7402	0,0140	3,9026	0,0184	5,0064	0,0228	6,0513
0,0053	1,5474	0,0097	2,7673	0,0141	3,9284	0,0185	5,0308	0,0229	6,0744
0,0054	1,5758	0,0098	2,7943	0,0142	3,9541	0,0186	5,0551	0,0230	6,0974
0,0055	1,6041	0,0099	2,8213	0,0143	3,9798	0,0187	5,0795	0,0231	6,1204
0,0056	1,6324	0,0100	2,8483	0,0144	4,0054	0,0188	5,1038	0,0232	6,1434
0,0057	1,6607	0,0101	2,8752	0,0145	4,0310	0,0189	5,1280	0,0233	6,1664
0,0058	1,6890	0,0102	2,9022	0,0146	4,0566	0,0190	5,1523	0,0234	6,1893
0,0059	1,7172	0,0103	2,9290	0,0147	4,0822	0,0191	5,1765	0,0235	6,2122
0,0060	1,7454	0,0104	2,9559	0,0148	4,1077	0,0192	5,2007	0,0236	6,2350
0,0061	1,7735	0,0105	2,9827	0,0149	4,1332	0,0193	5,2249	0,0237	6,2578
0,0062	1,8017	0,0106	3,0095	0,0150	4,1566	0,0194	5,2480	0,0238	6,2806
0,0063	1,8298	0,0107	3,0363	0,0151	4,1841	0,0195	5,2731	0,0239	6,3034
0,0064	1,8579	0,0108	3,0630	0,0152	4,2095	0,0196	5,2972	0,0240	6,3261
0,0065	1,8859	0,0109	3,0897	0,0153	4,2349	0,0197	5,3212	0,0241	6,3488
0,0066	1,9139	0,0110	3,1164	0,0154	4,2602	0,0198	5,3452	0,0242	6,3715
0,0067	1,9419	0,0111	3,1431	0,0155	4,2855	0,0199	5,3692	0,0243	6,3941
0,0068	1,9698	0,0112	3,1697	0,0156	4,3108	0,0200	5,3931	0,0244	6,4168
0,0069	1,9978	0,0113	3,1963	0,0157	4,3360	0,0201	5,4171	0,0245	6,4393
0,0070	2,0257	0,0114	3,2228	0,0158	4,3613	0,0202	5,4409	0,0246	6,4619
0,0071	2,0535	0,0115	3,2494	0,0159	4,3865	0,0203	5,4648	0,0247	6,4844
0,0072	2,0814	0,0116	3,2759	0,0160	4,4116	0,0204	5,4886	0,0248	6,5069
0,0073	2,1092	0,0117	3,3023	0,0161	4,4367	0,0205	5,5124	0,0249	6,5294
0,0074	2,1369	0,0118	3,3288	0,0162	4,4618	0,0206	5,5124	0,0250	6,5518
0,0075	2,1647	0,0119	3,3552	0,0163	4,4869	0,0207	5,5362	0,0251	6,5742
0,0076	2,1924	0,0120	3,3815	0,0164	4,5119	0,0208	5,5599	0,0252	6,5966
0,0077	2,2200	0,0121	3,4079	0,0165	4,5370	0,0209	5,5836	0,0253	6,6189
0,0078	2,2477	0,0122	3,4342	0,0166	4,5619	0,0210	5,6073	0,0254	6,6412
0,0079	2,2753	0,0123	3,4605	0,0167	4,5869	0,0211	5,6309	0,0255	6,6635
0,0080	2,3029	0,0124	3,4867	0,0168	4,6118	0,0212	5,6546	0,0256	6,6857
0,0081	2,3305	0,0125	3,5129	0,0169	4,6367	0,0213	5,6781	0,0257	6,7079
0,0082	2,3580	0,0126	3,5391	0,0170	4,6615	0,0214	5,7017	0,0258	6,7301
0,0083	2,3855	0,0127	3,5653	0,0171	4,6864	0,0215	5,7252	0,0259	6,7301
0,0084	2,4130	0,0128	3,5914	0,0172	4,7112	0,0216	5,7487	0,0260	6,7744
0,0085	2,4404	0,0129	3,6175	0,0173	4,7359	0,0217	5,7722	0,0261	6,7965
0,0086	2,4678	0,0130	3,6436	0,0174	4,7607	0,0218	5,7956	0,0262	6,8186
0,0087	2,4952	0,0131	3,6696	0,0175	4,7854	0,0219	5,8190	0,0263	6,8406
0,0088	2,5225	0,0132	3,6957	0,0176	4,8100	0,0220	5,8424	0,0264	6,8626
0,0089	2,5498	0,0133	3,7216	0,0177	4,8347	0,0221	5,8657	0,0265	6,8846
0,0090	2,5771	0,0134	3,7476	0,0178	4..8593	0,0222	5,8890	0,0266	6,9065

TABEL A-18 (lanjutan)
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 35 Mpa, *fy*=300 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0267	6,9284	0,0295	7,5297	0,0323	8,1072	0,0351	8,6609	0,0379	9,1908
0,0268	6,2806	0,0296	7,5507	0,0324	8,1274	0,0352	8,6802	0,0380	9,2092
0,0269	6,9722	0,0297	7,5717	0,0325	8,1475	0,0353	8,6995	0,0381	9,2277
0,0270	6,9940	0,0298	7,5927	0,0326	8,1676	0,0354	8,7188	0,0382	9,2460
0,0271	7,0158	0,0299	7,6137	0,0327	8,1877	0,0355	8,7380	0,0383	9,2645
0,0272	7,0376	0,0300	7,6346	0,0328	8,2078	0,0356	8,7572	0,0384	9,2829
0,0273	7,0593	0,0301	7,6555	0,0329	8,2278	0,0357	8,7764	0,0385	9,3012
0,02/4	7,0810	0,0302	7,6763	0,0330	8,2478	0,0358	8,7956	0,0386	9,3195
0,027b	7,1027	0,0303	7,6971	0,0331	8,2678	0,0359	8,8147	0,0387	9,3378
0,0276	7,1243	0,0304	7,7179	0,0332	8,2877	0,0360	8,8338	0,0388	9,3560
0,0277	7,1459	0,0305	7,7387	0,0333	8,3077	0,0361	8,8528	0,0389	9,3742
0,0278	7,1675	0,0306	7,7594	0,0334	8,3275	0,0362	8,6719	0,0390	9,3924
0,0279	7,1890	0,0307	7,7801	0,0335	8,3474	0,0363	8,8909	0,0391	9,2277
0,0280	7,2106	0,0308	7,8008	0,0336	8,3672	0,0364	8,9098	0,0392	9,4287
0,0281	7,2320	0,0309	7,8214	0,0337	8,3870	0,0365	8,9288	0,0393	9,4468
0,0282	7,2535	0,0310	7,8420	0,0338	8,4068	0,0366	8,9477	0,0394	9,4648
0,0283	7,2749	0,0311	7,8626	0,0339	8,4265	0,0367	8,9666	0,0395	9,4829
0,0284	7,2963	0,0312	7,8832	0,0340	8,4462	0,0368	8,9854	0,0396	9,5009
0,0285	7,3177	0,0313	7,9037	0,0341	8,4659	0,0369	9,0042	0,0397	9,5188
0,0286	7,3390	0,0314	7,9242	0,0342	8,4855	0,0370	9,0230	0,0398	9,5368
0,0287	7,3603	0,0315	7,9446	0,0343	8,5051	0,0371	9,0418	0,0399	9,5547
0,0288	7,3816	0,0316	7,9650	0,0344	8,5247	0,0372	9,0605	0,0400	9,5726
0,0289	7,4029	0,0317	7,9854	0,0345	8,5442	0,0373	9,0792	0,0401	9,5904
0,0290	7,4241	0,0318	8,0058	0,0346	8,5637	0,0374	9,0979	0,0402	9,6082
0,0291	7,4453	0,0319	8,0261	0,0347	8,5832	0,0375	9,1165		
0,0292	7,4664	0,0320	8,0464	0,0348	8,6027	0,0376	9,1351		
0,0293	7,4875	0,0321	8,0667	0,0349	8,6221	0,0377	9,1537		
0,0294	7,5086	0,0322	8,0870	0,0350	8,6415	0,0378	9,1722		

TABEL A-19 RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*) (*fc'* = 40 Mpa, *fy*=300 Mpa, *k* dalam MPa)									
ρ	***k***	***ρ***	***k***	***ρ***	***k***	***ρ***	***k***	***ρ***	***k***
0,0047	1,3807	0,0091	2,6201	0,0135	3,8081	0,0179	4,9447	0,0223	6,0298
0,0048	1,4094	0,0092	2,6476	0,0136	3,8345	0,0180	4,9669	0,0224	6,0539
0,0049	1,4381	0,0093	2,6752	0,0137	3,8608	0,0181	4,9951	0,0225	6,0780
0,0050	1,4668	0,0094	2,7027	0,0138	3,8872	0,0182	5,0203	0,0226	6,1020
0,0051	1,4955	6,0095	2,7302	0,0139	3,9135	0,0183	5,0454	0,0227	6,1260
0,0052	1,5241	0,0096	2,7577	0,0140	3,9398	0,0184	5,0706	0,0228	6,1499
0,0053	1,5527	0,0097	2,7851	0,0141	3,9661	0,0185	5,0957	0,0229	6,1738
0,0054	1,5813	0,0098	2,8125	0,0142	3,9923	0,0186	5,1207	0,0230	6,1978
0,0055	1,6098	0,0099	2,8399	0,0143	4,0185	0,0187	5,1458	0,0231	6,2216
0,0056	1,6384	0,0100	2,8673	0,0144	4,0447	0,0188	5,1708	0,0232	6,2455
0,0057	1,6669	0,0101	2,8946	0,0145	4,0709	0,0189	5,1958	0,0233	6,2693
0,0058	1,6953	0,0102	2,9219	0,0146	4,0970	0,0190	5,2208	0,0234	6,2931
0,0059	1,7238	0,0103	2,9492	0,0147	4,1231	0,0191	5,2457	0,0235	6,3169
0,0060	1,7522	0,0104	2,9764	0,0148	4,1492	0,0192	5,2706	0,0236	6,3406
0,0061	1,7806	0,0105	3,0036	0,0149	4,1753	0,0193	5,2955	0,0237	6,3644
0,0062	1,8090	0,0106	3,0308	0,0150	4,2013	0,0194	5,3204	0,0238	6,3881
0,0063	1,8373	0,0107	3,0580	0,0151	4,2273	0,0195	5,3452	0,0239	6,4117
0,0064	1,8656	0,0108	3,0852	0,0152	4,? 533	0,0196	5,3700	0,0240	6,4354
0,0065	1,8939	0,0109	3,1123	0,0153	4,2792	0,0197	5,3948	0,0241	6,4590
0,0066	1,9222	0,0110	3,1394	0,0154	4,3052	0,0198	5,4196	0,0242	6,4826
0,0067	1,9504	0,0111	3,1664	0,0155	4,3311	0,0199	5,4443	0,0243	6,5061
0,0068	1,9786	0,0112	3,1935	0,0156	4,3569	0,0200	5,4690	0,0244	6,5297
0,0069	2,0068	0,0113	3,2205	0,0157	4,3828	0,0201	5,4937	0,0245	6,5532
0,0070	2,0350	0,0114	3,2475	0,0158	4,4086	0,0202	5,5183	0,0246	6,5767
0,0071	2,0631	0,0115	3,2744	0,0159	4,4344	0,0203	5,5430	0,0247	6,6001
0,0072	2,0912	0,0116	3,3014	0,0160	4,4602	0,0204	5,5675	0,0248	6,6235
0,0073	2,1193	0,0117	3,3283	0,0161	4,4859	0,0205	5,5921	0,0249	6,6469
0,0074	2,1473	0,0118	3,3552	0,0162	4,5116	0,0206	5,6167	0,0250	6,6703
0,0075	2,1753	0,0119	3,3820	0,0163	4,5373	0,0207	5,6412	0,0251	6,6937
0,0076	2,2033	0,0120	3,4088	0,0154	4,5630	0,0208	5,6657	0,0252	6,7170
0,0077	2,2313	0,0121	3,4356	0,0165	4,5886	0,0209	5,6901	0,0253	6,7403
0,0078	2,2592	0,0122	3,4624	0,0166	4,6142	0,0210	5,7146	0,0254	6,7636
0,0079	2,2872	0,0123	3,4892	0,0167	4,6398	0,0211	5,7390	0,0255	6,7868
0,0080	2,3150	0,0124	3,5159	0,0168	4,6653	0,0212	5,7634	0,0256	6,8100
0,0081	2,3429	0,0125	3,5426	0,0169	4,6909	0,0213	5,7877	0,0257	6,8332
0,0082	2,3707	0,0126	3,5692	0,0170	4,7164	0,0214	5,8121	0,0258	6,8564
0,0083	2,3985	0,0127	3,5959	0,0171	4,7418	0,0215	5,8364	0,0259	6,8795
0,0084	2,4263	0,0128	3,6225	0,0172	4,7673	0,0216	5,8606	0,0260	6,9026
0,0085	2,4541	0,0129	3,6491	0,0173	4,7927	0,0217	5,8849	0,0261	6,9257
0,0086	2,4818	0,0130	3,6757	0,0174	4,8181	0,0218	5,9091	0,0262	6,9488
0,0087	2,5095	0,0131	3,7022	0,0175	4,8435	0,0219	5,9333	0,0263	6,9718
0,0088	2,5372	0,0132	3,7287	0,0176	4,8688	0,0220	5,9575	0,0264	6,9948
0,0089	2,5648	0,0133	3,7552	0,0177	4,8941	0,0221	5,9816	0,0265	7,0178
0,0090	2,5925	0,0134	3,7816	0,0178	4,9194	0,0222	6,0058	0,0266	7,0407

TABEL A-19 (lanjutan)
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 40 Mpa, *fy*=300 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0267	7,0636	0,0301	7,8273	0,0335	8,5602	0,0369	9,2625	0,0403	9,9340
0,0268	7,3861	0,0302	7,8493	0,0336	8,5813	0,0370	9,2827	0,0404	9,9533
0,0269	7,1094	0,0303	7,8712	0,0337	8,6024	0,0371	9,3028	0,0405	9,9726
0,0270	7,1323	0,0304	7,8932	0,0338	8,6234	0,0372	9,3230	0,0406	9,9918
0,0271	7,1551	0,0305	7,91.51	0,0339	8,6444	0,0373	9,3431	0,0407	10,0110
0,0272	7,1779	0,0306	7,9370	0,0340	8,6654	0,0374	9,3631	0,0408	10,0300
0,0273	7,2006	0,0307	7,9588	0,0341	8,6864	0,0375	9,3832	0,0409	10,0490
0,0274	7,2234	0,0306	7,9807	0,0342	8,7073	0,0376	9,4032	0,0410	10,0680
0,0275	7,2461	0,0309	8,0025	0,0343	8,7282	0,0377	9,4232	0,0411	10,0870
0,0276	7,2688	0,0310	8,0243	0,0344	8,7491	0,0378	9,4432	0,0412	10,1060
0,0277	7,2914	0,0311	8,0460	0,0345	8,7699	0,0379	9,4632	0,0413	10,1250
0,0278	7,3141	0,0312	8,0678	0,0346	8,7908	0,0380	9,4831	0,0414	10,1440
0,0279	7,3367	0,0313	8,0895	0,0347	8,8116	0,0381	9,5030	0,0415	10,1630
0,0280	7,3592	0,0314	8,1111	0,0348	8,8323	0,0382	9,5229	0,0416	10,1820
0,0281	7,3818	0,0315	8,1328	0,0349	8,8531	0,0383	9,5427	0,0417	10,2010
0,0282	7,4043	0,0316	8,1544	0,0350	8,8738	0,0384	9,5625	0,0418	10,2200
0,0283	7,4268	0,0317	8,1760	0,0351	8,8945	0,0385	9,5823	0,0419	10,2390
0,0284	7,4493	0,0318	8,1976	0,0352	8,9152	0,0386	9,6021	0,0420	10,2580
0,0285	7,4717	0,0319	8,2191	0,0353	8,9358	0,0387	9,6218	0,0421	10,2770
0,0286	7,4942	0,0320	8,2406	0,0354	8,9564	0,0388	9,6415	0,0422	10,2950
0,0287	7,5166	0,0321	8,2621	0,0355	8,9770	0,0389	9,6612	tf,0423	10,3140
0,0288	7,5389	0,0322	8,2836	0,0356	8,9976	0,0390	9,6809	0,0424	10,3330
0,0289	7,5613	0,0323	8,3050	0,0357	9,0181	0,0391	9,7005	0,0425	10,3520
0,0290	7,5836	0,0324	8,3264	0,0358	9,0386	0,0392	9,7201	0,0426	10,3700
0,0291	7,6059	0,0325	8,3478	0,0359	9,0591	0,0393	9,7397	0,0427	10,3890
0,0292	7,6281	0,0326	8,3692	0,0360	9,0796	0,0394	9,7592	0,0428	10,4080
0,0293	7,6504	0,0327	8,3905	0,0361	9,1000	0,0395	9,7788	0,0429	10,4260
0,0294	7,6726	0,0328	8,4118	0,0362	9,1204	0,0396	9,7983	0,0430	10,4450
0,0295	7,6947	0,0329	8,4331	0,0363	9,1408	0,0397	9,8177	0,0431	10,4640
0,0296	7,7169	0,0330	8,4544	0,0364	9,1611	0,0398	9,8372	0,0432	10,4820
0,0297	7,7390	0,0331	8,4756	0,0365	9,1814	0,0399	9,8566	0,0433	10,5010
0,0298	7,7611	0,0332	8,4968	0,0366	9,2017	0,0400	9,8760	0,0434	10,5190
0,0299	7,7832	0,0333	8,5179	0,0367	9,2220	0,0401	9,8954	0,0435	10,5380
0,0300	7,8053	0,0334	8,5391	0,0368	9,2422	0,0402	9,9147	0,0436	10,5560

TABEL A-20
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 17 Mpa, *fy*=350 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0040	1,3320	0,0066	2,1248	0,0092	2,8602	0,0118	3,5380	0,0144	4,1584
0,0041	1,3635	0,0067	2,1542	0,0093	2,8873	0,0119	3,5629	0,0145	4,1811
0,0042	1,3950	0,0068	2,1834	0,0094	2,9143	0,0120	3,5878	0,0146	4,2038
0,0043	1,4264	0,0069	2,2126	0,0095	2,9413	0,0121	3,6125	0,0147	4,2263
0,0044	1,4577	0,0070	2,2417	0,0096	2,9682	0,0122	3,6372	0,0148	4,2488
0,0045	1,4889	0,0071	2,2707	0,0097	2,9950	0,0123	3,6618	0,0149	4,2711
0,0046	1,5200	0,0072	2,2996	0,0098	3,0217	0,0124	3,6863	0,0150	4,2934
0,0047	1,5511	0,0073	2,3284	0,0099	3,0483	0,0125	3,7107	0,0151	4,3156
0,0048	1,5820	0,0074	2,3572	0,0100	3,0749	0,0126	3,7350	0,0152	4,3377
0,0049	1,6129	0,0075	2,3859	0,0101	3,1013	0,0127	3,7593	0,0153	4,3598
0,0050	1,6437	0,0076	2,4144	0,0102	3,1277	0,0128	3,7834	0,0154	4,3817
0,0051	1,6744	0,0077	2,4429	0,0103	3,1540	0,0129	3,8075	0,0155	4,4036
0,0052	1,7050	0,0078	2,4713	0,0104	3,1802	0,0130	3,8315	0,0156	4,4254
0,0053	1,7356	0,0079	2,4997	0,0105	3,2063	0,0131	3,8554	0,0157	4,4471
0,0054	1,7660	0,0080	2,5279	0,0106	3,2323	0,0132	3,8792	0,0158	4,4687
0,0055	1,7964	0,0081	2,5561	0,0107	3,2582	0,0133	3,9030	0,0159	4,4902
0,0056	1,8267	0,0082	2,5841	0,0108	3,2841	0,0134	3,9266	0,0160	4,5116
0,0057	1,8569	0,0083	2,6121	0,0109	3,3099	0,0135	3,9502	0,0161	4,5330
0,0058	1,8870	0,0084	2,6400	0,0110	3,3356	0,0136	3,9736	0,0162	4,5542
0,0059	1,9170	0,0085	2,6678	0,0111	3,3612	0,0137	3,9970	0,0163	4,5754
0,0060	1,9469	0,0086	2,6956	0,0112	3,3867	0,0138	4,0203	0,0164	4,5965
0,0061	1,9768	0,0087	2,7232	0,0113	3,4121	0,0139	4,0436	0,0165	4,6175
0,0062	2,0066	0,0088	2,7508	0,0114	3,4375	0,0140	4,0667	0,0166	4,6385
0,0063	2,0363	0,0089	2,7782	0,0115	3,4627	0,0141	4,0898		
0,0064	2,0659	0,0090	2,8056	0,0116	3,4879	0,0142	4,1127		
0,0065	2,0954	0,0091	2,8329	0,0117	3,5130	0,0143	4,1356		

TABEL A-21
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 20 Mpa, *fy*=350 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0040	1,3422	0,0048	1,5967	0,0056	1,8467	0,0064	2,0920	0,0072	2,3327
0,0041	1,3743	0,0049	1,6282	0,0057	1,8776	0,0065	2,1223	0,0073	2,3624
0,0042	1,4063	0,0050	1,6597	0,0058	1,9084	0,0066	2,1526	0,0074	2,3921
0,0043	1,4382	0,0051	1,6910	0,0059	1,9392	0,0067	2,1828	0,0075	2,4217
0,0044	1,4700	0,0052	1,7228	0,0060	1,6597	0,0068	2,2129	0,0076	2,4513
0,0045	1,5018	0,0053	1,7535	0,0061	2,0005	0,0069	2,2429	0,0077	2,4807
0,0046	1,5335	0,0054	1,7846	0,0062	2,0311	0,0070	2,2729	0,0078	2,5101
0,0047	1,5652	0,0055	1,8157	0,0063	2,0616	0,0071	2,3028	0,0079	2,5395

TABEL A-21 (LANJUTAN)
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 17 Mpa, *fy*=350 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0080	2,5687	0,0104	3,2491	0,0128	3,8879	0,0152	4,4851	0,0176	5,0406
0,0081	2,5979	0,0105	3,2766	0,0129	3,9136	0,0153	4,5091	0,0177	5,0628
0,0082	2,6270	0,0106	3,3040	0,0130	3,9393	0,0154	4,5330	0,0178	5,0850
0,0083	2,6560	0,0107	3,3313	0,0131	3,9648	0,0155	4,5568	0,0179	5,1071
0,0084	2,6850	0,0108	3,3585	0,0132	3,9903	0,0156	4,5806	0,0180	5,1291
0,0085	2,7139	0,0109	3,3857	0,0133	4,0158	0,0157	4,6042	0,0181	5,1511
0,0086	2,7427	0,0110	3,4127	0,0134	4,0411	0,0158	4,6279	0,0182	5,1730
0,0087	2,7715	0,0111	3,4397	0,0135	4,0664	0,0159	4,6514	0,0183	5,1948
0,0088	2,8002	0,0112	3,4667	0,0136	4,0916	0,0160	4,6749	0,0184	5,2165
0,0089	2,8288	0,0113	3,4936	0,0137	4,1167	0,0161	4,6983	0,0185	5,2382
0,0090	2,8573	0,0114	3,5204	0,0138	4,1418	0,0162	4,7216	0,0186	5,2598
0,0091	2,8857	0,0115	3,5471	0,0139	4,1668	0,0163	4,7449	0,0187	5,2813
0,0092	2,9141	0,0116	3,5737	0,0140	4,1917	0,0164	4,7680	0,0188	5,3028
0,0093	2,9424	0,0117	3,6003	0,0141	4,2166	0,0165	4,7912	0,0189	5,3241
0,0094	2,9707	0,0118	3,6268	0,0142	4,2413		4,8142	0,0190	5,3454
0,0095	2,9989	0,0119	3,6533	0,0143	4,2660	0,0167	4,8372	0,0191	5,3667
0,0096	3,0270	0,0120	3,6796	0,0144	4,2907	0,0168	4,8601	0,0192	5,3878
0,0097	3,0550	0,0121	3,7059	0,0145	4,3152	0,0169	4,8829	0,0193	5,4089
0,0098	3,0829	0,0122	3,7321	0,0146	4,3397	0,0170	4,9056	0,0194	5,4299
0,0099	3,1100	0,0123	3,7583	0,0147	4,3641	0,0171	4,9283	0,0195	5,4509
0,0100	3,1386	0,0124	3,7843	0,0148	4,3884	0,0172	4,9509	0,0196	5,4717
0,0101	3,1664	0,0125	3,8104	0,0149	4,4127	0,0173	4,9734		
0,0102	3,1940	0,0126	3,8363	0,0150	4,4369	0,0174	4,9959		
0,0103	3,2216	0,0127	3,8621	0,0151	4,4610	0,0175	5,0183		

TABEL A-22
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 25 Mpa, *fy*=350 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0040	1,3537	0,0050	1,6777	0,0060	1,9959	0,0070	2,3083	0,0080	2,6150
0,0041	1,3864	0,0051	1,7098	0,0061	2,0274	0,0071	2,3393	0,0081	2,6453
0,0042	1,4190	0,0052	1,7418	0,0062	2,0589	0,0072	2,3701	0,0082	2,6756
0,0043	1,4515	0,0053	1,7738	0,0063	2,0903	0,0073	2,4009	0,0083	2,7058
0,0044	1,4840	0,0054	1,8057	0,0064	2,1216	0,0074	2,4317	0,0084	2,7360
0,0045	1,5165	0,0055	1,8375	0,0065	2,1529	0,0075	2,4624	0,0085	2,7661
0,0046	1,5488	0,0056	1,8693	0,0066	2,1841	0,0076	2,4930	0,0086	2,7962
0,0047	1,5811	0,0057	1,9011	0,0067	2,2152	0,0077	2,5236	0,0087	2,8262
0,0048	1,6134	0,0058	1,9327	0,0068	2,2463	0,0078	2,5541	0,0088	2,8561
0,0049	1,6456	0,0059	1,9644	0,0069	2,2774	0,0079	2,5846	0,0089	2,8860

TABEL A-22
RASIO PENULANGAN (ρ) vs KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 25 Mpa, *fy*=350 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0090	2,9158	0,0121	3,8117	0,0152	4,6521	0,0183	5,4368	0,0214	6,1660
0,0091	2,9456	0,0122	3,8397	0,0153	4,6782	0,0184	5,4612	0,0215	6,1886
0,0092	2,9753	0,0123	3,8676	0,0154	4,7044	0,0185	5,4856	0,0216	6,2112
0,0093	3,0050	0,0124	3,8955	0,0155	4,7304	0,0186	5,5098	0,0217	6,2337
0,0094	3,0346	0,0125	3,9233	0,0156	4,7564	0,0187	5,5340	0,0218	6,2561
0,0095	3,0641	0,0126	3,9510	0,0157	4,7824	0,0188	5,5582	0,0219	6,2784
0,0096	3,0936	0,0127	3,9787	0,0158	4,8083	0,0189	5,5823	0,0220	6,3008
0,0097	3,1230	0,0128	4,0063	0,0159	4,8341	0,0190	5,6063	0,0221	6,3230
0,0098	3,1523	0,0129	4,0339	0,0160	4,8599	0,0191	5,6303	0,0222	6,3452
0,0099	3,1817	0,0130	4,0614	0,0161	4,8856	0,0192	5,6543	0,0223	6,3673
0,0100	3,2109	0,0131	4,0889	0,0162	4,9113	0,0193	5,6781	0,0224	6,3894
0,0101	3,2401	0,0132	4,1163	0,0163	4,9369	0,0194	5,7019	0,0225	6,4114
0,0102	3,2692	0,0133	4,1436	0,0164	4,9624	0,0195	5,7257	0,0226	6,4334
0,0103	3,2983	0,0134	4,1709	0,0165	4,9879	0,0196	5,7494	0,0227	6,4553
0,0104	3,3273	0,0135	4,1981	0,0166	5,0134	0,0197	5,7730	0,0228	6,4771
0,0105	3,3563	0,0136	4,2253	0,0167	5,0387	0,0198	5,7966	0,0229	6,4989
0,0106	3,3852	0,0137	4,2524	0,0168	5,0640	0,0199	5,8201	0,0230	6,5207
0,0107	3,4140	0,0138	4,2794	0,0169	5,0893	0,0200	5,8436	0,0231	6,5423
0,0108	3,4428	0,0139	4,3064	0,0170	5,1145	0,0201	5,8670	0,0232	6,5639
0,0109	3,4715	0,0140	4,3334	0,0171	5,1396	0,0202	5,8904	0,0233	6,5855
0,0110	3,5002	0,0141	4,3602	0,0172	5,1647	0,0203	5,9136	0,0234	6,6070
0,0111	3,5288	0,0142	4,3871	0,0173	5,1898	0,0204	5,9369	0,0235	6,6284
0,0112	3,5574	0,0143	4,4138	0,0174	5,2147	0,0205	5,9601	0.0236	6,6498
0,01 13	3,5858	0,0144	4,4405	0,0175	5,2396	0,0206	5,9832	0,0237	6,6712
0,01 14	3,6143	0,0145	4,4672	0,0176	5,2645	0,0207	6,0062	0,0238	6,6924
0,01 15	3,6427	0,0146	4,4938	0,0177	5,2893	0,0208	6,0292	0,0239	6,7136
0,0116	.3,6710	0,0147	4,5203	0,0178	5,3140	0,0209	6,0522	0,0240	6,7348
0,01 17	3,6993	0,0148	4,5468	0,0179	5,3387	0,0210	6,0751	0,0241	6,7559
0,0118	3,7275	0,0149	4,5732	0,0180	5,3633	0,0211	6,0979	0,0242	6,7769
0,0119	3,7556	0,0150	4,5995	0,0181	5,3879	0,0212	6,1207	0,0243	6,7979
0,0120	3,7837	0,0151	4,6258	0,0182	5,4124	0,0213	6,1434	0,0244	6,8188

TABEL A-23 RASIO PENULANGAN (*ρ*) vs KOEFISIEN TAHANAN (*k*) (*fc'* = 30 Mpa, *fy*=350 Mpa, *k* dalam MPa)									
ρ	***k***	***ρ***	***k***	***ρ***	***k***	***ρ***	***k***	***ρ***	***k***
0,0040	1,3615	0.0084	2,7700	0.0128	4,0853	0.0172	5,3073	0.0216	6,4360
0,0041	1,3945	0.0085	2,8009	0.0129	4,1141	0.0173	5,3340	0.0217	6,4605
0,0042	1,4275	0.0086	2,8318	0.0130	4,1429	0.0174	5,3606	0.0218	6,4851
0,0043	1,4605	0.0087	2,8627	0.0131	4,1716	0.0175	5,3872	0.0219	6,5095
0,0044	1,4934	0.0088	2,8934	0.0132	4,2002	0.0176	5,4137	0.0220	6,5340
0,0045	1,5262	0.0089	2,9242	0.0133	4,2288	0.0177	5,4402	0.0221	6,5583
0,0046	1,5590	0.0090	2,9549	0.0134	4,2574	0.0178	5,4667	0.0222	6,5827
0,0047	1,5918	0.0091	2,9855	0.0135	4,2859	0.0179	5,4931	0.0223	6,6069
0,0048	1,6245	0.0092	3,0161	0.0136	4,3144	0.0180	5,5194	0.0224	6,6312
0,0049	1,6572	0.0093	3,0466	0.0137	4,3428	0.0181	5.5457	0.0225	6,6554
0,0050	1,6898	0.0094	3,0771	0.0138	4,3712	0.0182	5.5720	0.0226	6,7950
0,0051	1,7223	0.0095	3,1076	0.0139	4,3995	0.0183	5,5982	0.0227	7,0360
0,0052	1,7549	0.0096	3,1380	0.0140	4,4278	0.0184	5,6244	0.0228	7,2760
0,0053	1,7873	0.0097	3,1683	0.0141	4,4560	0.0185	5,6505	0.0229	7,5160
0,0054	1,8197	0.0098	3,1986	0.0142	4,4842	0.0186	5,6765	0.0230	7,7560
0,0055	1,8521	0.0099	3,2289	0.0143	4,5123	0.0187	5,7025	0.0231	7,9940
0,0056	1,8844	0.0100	3,2591	0.0144	4,5404	0.0188	5,7285	0.0232	8,2330
0,0057	1,9167	0.0101	3,2892	0.0145	4,5685	0.0189	5,7544	0.0233	8,4710
0,0058	1,9490	0.0102	3,3194	0.0146	4,5965	0.0190	5,7803	0.0234	8,7080
0,0059	1,9811	0.0103	3,3494	0.0147	4,6244	0.0191	5,8061	0.0235	8,9450
0,0060	2,0133	0.0104	3,3794	0.0148	4,6523	0.0192	5,8319	0.0236	9,1820
0,0061	2,0454	0.0105	3,4094	0.0149	4,6801	0.0193	5,8576	0.0237	9,4180
0,0062	2,0774	0.0106	3,4393	0.0150	4,7079	0.0194	5,8833	0.0238	9,6540
0,0063	2,1094	0.0107	3,4692	0.0151	4,7357	0.0195	5,9089	0.0239	9,8890
0,0064	2,1413	0.0108	3,4990	0.0152	4,7634	0.0196	5,9345	0.0240	7,1230
0,0065	2,1732	0.0109	3,5288	0.0153	4,7910	0.0197	5,9600	0.0241	7,3570
0,0066	2,2051	0.0110	3,5585	0.0154	4,8186	0.0198	5,9855	0.0242	7,5910
0,0067	2,2369	0.0111	3,5882	0.0155	4,8462	0.0199	6,0109	0.0243	7,8240
0,0068	2,2686	0.0112	3,6178	0.0156	4,8737	0.0200	6,0363	0.0244	7,1057
0,0069	2,3003	0.0113	3,6474	0.0157	4,9012	0.0201	6,0617	0.0245	7,1289
0,0070	2,3320	0.0114	3,6769	0.0158	4,9286	0.0202	6,0870	0.0246	7,1521
0,0071	2,3636	0.0115	3,7064	0.0159	4,9559	0.0203	6,1122	0.0247	7,1752
0,0072	2,3951	0.0116	3,7358	0.0160	4,9833	0.0204	6,1374	0.0248	7,1983
0,0073	2,4266	0.0117	3,7652	0.0161	5,0105	0.0205	6,1625	0.0249	7,2213
0,0074	2,4581	0.0118	3,7945	0.0162	5,0377	0.0206	6,1876	0.0250	7,2443
0,0075	2,4895	0.0119	3,8238	0.0163	5,0649	0.0207	6,2127	0.0251	7,2672
0,0076	2,5208	0.0120	3,8531	0.0164	5,0920	0.0208	6,2377	0.0252	7,2901
0,0077	2,5522	0.0121	3,8823	0.0165	5,1191	0.0209	6,2627	0.0253	7,3129
0,0078	2,5834	0.0122	3,9114	0.0166	5,1461	0.0210	6,2876	0.0254	7,3357
0,0079	2,6146	0.0123	3,9405	0.0167	5,1731	0.0211	6,3124	0.0255	7,3584
0,0080	2,6458	0.0124	3,9696	0.0168	5,2000	0.0212	6,3372	0.0256	7,3811
0,0081	2,6769	0.0125	3,9986	0.0169	5,2269	0.0213	6,3620	0.0257	7,4038
0,0082	2,7080	0.0126	4,0275	0.0170	5,2538	0.0214	6,3867	0.0258	7,4264
0,0083	2,7390	0.0127	4,0564	0.0171	5,2805	0.0215	6,4114	0.0259	7,4489

TABEL A-23
RASIO PENULANGAN (ρ) vs KOEFISIEN TAHANAN (k)
(fc' = 30 Mpa, fy=350 Mpa, k dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0 0260	7 4714	0,0267	7,6275	0,0274	7,7813	0,0281	7,9327	0,0288	8,0817
0 0261	7 4939	0,0268	7,6496	0.0275	7,8031	0,0282	7.9541	0,0289	8,1028
0 0262	7 5163	0,0269	7,6717	0.0276	7.8248	0,0283	7,9755	0,0290	8,1239
0 0263	7,5386	0,0270	7,6937	0,0277	7,8465	0,0284	7,9969	0,0291	8,1449
0 0264	7 5609	0,0271	7,7157	0,0278	7.8681	0,0285	8,0182	0,0292	8,1658
0 0265	7,5832	0,0272	7,7376	0,0279	7,8897	0,0286	8.0394	0,0293	8,1868
0,0266	7,6054	0,0273	7,7595	0,0280	7,9112	0,0287	8,0606		

TABEL A-24
RASIO PENULANGAN (ρ) va KOEFISIEN TAHANAN (k)
(fc' = 35 Mpa, fy=350 Mpa, k dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0040	1,3670	0,0066	2,2200	0,0092	3,0452	0,0118	3,8425	0,0144	4,6118
0,0041	1,4003	0,0067	2,2523	0,0093	3,0764	0,0119	3,8726	0,0145	4,6408
0,0042	1,4336	0,0068	£,2645	0,0094	3,1075	0,0120	3,9026	0,0146	4,6698
0,0043	1,4668	0,0069	2,3167	0,0095	3,1386	0,0121	3,9327	0,0147	4,6988
0,0044	1,5000	0,0070	2,3488	0,0096	3,1697	0,0122	3,9626	0,0148	4,7277
0,0045	1,5332	0,0071	2,3809	0,0097	3,2007	0,0123	3,9926	0,0149	4,7565
0,0046	1,5663	0,0072	2,4130	0,0098	3,2317	0,0124	4,0225	0,0150	4,7854
0,0047	1,5994	0,0073	2,4450	0,0099	3,2625	0,0125	4,0523	0,0151	4,8142
0,0048	1,6324	0,0074	2,4769	0,0100	3,2935	0,0126	4,0822	0,0152	4,8429
0,0049	1,6654	0,0075	2,5088	0,0101	3,3243	0,0127	4,1119	0,0153	4,8716
0,0050	1,6984	0,0076	2,5407	0,0102	3,3552	0,0128	4,1417	0,0154	4,9003
0,0051	1,7313	0,0077	2,5726	0,0103	3.3859	0,0129	4.1714	0,0155	4,9289
0,0052	1,7642	0,0078	2,6044	0,0104	3,4166	0,0130	4,2010	0,0156	4,9575
0,0053	1,7970	0,0079	2,6361	0,0105	3,4473	0,0131	4,2306	0,0157	4,9860
0,0054	1,8298	0,0080	2.6678	0,0106	3,4780	0,0132	4,2602	0,0158	5,0145
0,0055	1,8625	0,0081	2,6995	0,0107	3.5086	0,0133	4,2897	0,0159	5,0429
0,0056	1,8952	0,0082	2,7311	0,0108	3,5391	0,0134	4,3192	0,0160	5,0714
0,0057	1,9279	0,0083	2,7627	0,0109	3.5697	0,0135	4,3487	0,0161	5,0997
0,0058	1,9605	0,0084	2,7943	0,0110	3,6001	0,0136	4,3781	0,0162	5,1281
0,0059	1,9931	0,0085	2,8258	0,0111	3.6306	0,0137	4,4074	0,0163	5,1564
0,0060	2,0257	0,0086	2,8573	0,0112	3,6610	0,0138	4,4367	0,0164	5,1846
0,0061	2,0582	0,0087	2,8887	0,0113	3,6913	0,0139	4,4660	0,0165	5,2128
0,0062	2,0906	0,0088	2.9201	0,0114	3,7216	0,0140	4,4953	0,0166	5,2410
0,0063	2,1230	0,0089	2,9514	0,0115	3.7519	0,0141	4,5245	0,0167	5,2691
0,0064	2,1554	0,0090	2,9827	0,0116	3,7821	0,0142	4,5536	0,0168	5,2972
0,0065	2,1878	0,0091	3,0140	0,0117	3,8123	0,0143	4,5827	0,0169	5,3252

TABEL A-24 (lanjutan)
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 35 Mpa, *fy*=350 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0170	5,3532	0,0202	6,2274	0,0234	7,0593	0,0266	7,8489	0,0298	8,5962
0,0171	5,3812	0,0203	6,2540	0,0235	7,0846	0,0267	7,8729	0,0299	8,618S
0,0172	5,4091	0,0204	6,2806	0,0236	7,1099	0,0268	7,8968	0,0300	8,6416
0,0173	5,4370	0,0205	6,3072	0,0237	7,1351	0,0269	7,9207	0,0301	8,6641
0,0174	5,4648	0,0206	6,3337	0,0238	7,1603	0,0270	7,9446	0,0302	8,6866
0,0175	5,4926	0,0207	6,3602	0,0239	7,1855	0,0271	7,9684	0,0303	8,7091
0,0176	5,5203	0,0208	6,4130	0,0240	7,2106	0,0272	7,9922	0,0304	8,7316
0,0177	5,5481	0,0209	6,4130	0,0241	7,2356	0,0273	8,0160	0,0305	8,7540
0,0178	5,5757	0,0210	6,4393	0,0242	7,2607	0,0274	8,0397	0,0306	8,7764
0,0179	5,6034	0,0211	6,4656	0,0243	7,2856	0,0275	8.0633	0,0307	8,7986
0,0180	5,6309	0,0212	6,4919	0,0244	7,3106	0,0276	8.0870	0,0308	8,8211
0,0181	5,6585	0,0213	6,5181	0,0245	7,3355	0,0277	3,1105	0,0309	8.8433
0,0182	5,6860	0,0214	6,5443	0,0246	7,3603	0,0278	8,1341	0,0310	8,8655
0,0183	5,7135	0,0215	6,5705	0,0247	7,3852	0,0279	8,1576	0,0311	8,8877
0,0184	5,7409	0,0216	6,5966	0,0248	7,4099	0,0280	8,1810	0,0312	8,9098
0,0185	5,7683	0,0217	6,6226	0,0249	7,4347	0,0281	8,2045	0,0313	8,9319
0,0186	5,7956	0,0218	6,6486	0,0250	7,4594	0,0282	8,2278	0,0314	8,9540
0,0187	5,8229	0,0219	6,6746	0,0251	7,4840	0,0283	8,2512	0,0315	8,9760
0,0188	5,8501	0,0220	6,7005	0,0252	7,5086	0,0284	3.2745	0,0316	8,9980
0,0189	5,8774	0,0221	6,7264	0,0253	7,5332	0,0285	8,2977	0,0317	9,0199
0,0190	5,9045	0,0222	6,7523	0,0254	7,5577	0,0286	8,3209	0,0318	9,0418
0,0191	5,9317	0,0223	6,7781	0,0255	7,5822	0,0287	8,3441	0,0319	9,0636
0,0192	5,9588	0,0224	6,8039	0,0256	7,6067	0,0288	8.3672	0,0320	9,0854
0,0193	5,9858	0,0225	6,8296	0,0257	7,6311	0,0289	8,3903	0,0321	9,1072
0,0194	6,0120	0,0226	6,8553	0,0258	7,6555	0,0290	8,4133	0,0322	9,1288
0,0195	6,0398	0,0227	6,8809	0,0259	7.6798	0,0291	8,4363	0,0323	9,1506
0,0196	6,0667	0,0228	6,9065	0,0260	7,7041	0,0292	8,4593	0,0324	9,1722
0,0197	6,0936	0,0229	5,9321	0,0261	7,7283	0,0293	8,4822	0,0325	9,1938
0,0198	6,1204	0,0230	6,9576	0,0262	7,7525	0,0294	8,5051	0,0326	9,2154
0,0199	6,1472	0,0231	6,9831	0,0263	7,7767	0,0295	8,5279		
0,0200	6,1740	0,0232	7,0085	0,0264	7,8008	0,0296	8,5507		
0,0201	6,2007	0,0233	7,0339	0,0265	7,8249	0,0297	8,5735		

TABEL A-25
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 40 Mpa, *fy*=350 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0040	1,3711	0,0084	2,8125	0,0128	4,1840	0,0172	5,4855	0,0216	6,7170
0,0041	1,4046	0,0085	2,8445	0,0129	4,2143	0,0173	5,5142	0,0217	6,7442
0,0042	1,4381	0,0086	2,8764	0,0130	4.2446	0,0174	5,5430	0,0218	6,7713
0,0043	1,4716	0,0087	2,9082	0,0131	4,2749	0,0175	5,5716	0,0219	6,7984
0,0044	1,5050	0,0088	2,9401	0,0132	4,3052	0,0176	5,6003	0,0220	6,8255
0,0045	1,5384	0,0089	2,9719	0,0133	4,3354	0,0177	5,6289	0,0221	6,8525
0,0046	1,5718	0,0090	3,0036	0,0134	4,3656	0,0178	5,6575	0,0222	6,8795
0,0047	1,6051	0,0091	3,0354	0,0135	4,3957	0,0179	5,6861	0,0223	6,9065
0,0048	1,6384	0,0092	3,0671	0,0136	4,4258	0,0180	5,7146	0,0224	6,9334
0,0049	1,6716	0,0093	3,0987	0,0137	4,4559	0,0181	5,7430	0,0225	6,9603
0,0050	1,7048	0,0094	3,1303	0,0138	4,4859	0,0182	5,7715	0,0226	6,9871
0,0051	1,7380	0,0095	3,1619	0,0139	4,5159	0,0183	5,7999	0,0227	7,0139
0,0052	1,7711	0,0096	3,1935	0,0140	4,5459	0,0184	5,8283	0,0228	7,0407
0,0053	1,8042	0,0097	3,2250	0,0141	4.5758	0,0185	5,8566	0,0229	7,0675
0,0054	1,8373	0,0098	3,2565	0,0142	4,6057	0,0186	5,8849	0,0230	7,0942
0,0055	1,8703	0,0099	3,2879	0,0143	4,6355	0,0187	5,9132	0,0231	7,1208
0,0056	1,9033	0,0100	3,3193	0,0144	4,6653	0,0188	5,9414	0,0232	7,1475
0,0057	1,9363	0,0101	3,3507	0,0145	4,6951	0,0189	5,9696	0,0233	7,1741
0,0058	1,9692	0,0102	3,3820	0,0146	4,7248	0,0190	5,9977	0,0234	7,2006
0,0059	2,0021	0,0103	3,4133	0,0147	4,7546	0,0191	6,0258	0,0235	7,2272
0,0060	2,0350	0,0104	3,4446	0,0148	4,7842	0,0192	6,0539	0,0236	7,2536
0,0061	2,0678	0,0105	3,4750	0,0149	4,8139	0,0193	6,0820	0,0237	7,2801
0,0062	2,1005	0,0106	3,5070	0,0150	4,8435	0,0194	6,1100	0,0238	7,3065
0,0063	2,1333	0,0107	3,5381	0,0151	4,8730	0,0195	6,1379	0,0239	7,3329
0,0064	2,1660	0,0108	3,5692	0,0152	4,9025	0,0196	6,1659	0,0240	7,3592
0,0065	2,1987	0,0109	3,6003	0,0153	4,9320	0,0197	6,1938	0,0241	7,3855
0,0066	2,2313	0,0110	3,6314	0,0154	4,9615	0,0198	6,2216	0,0242	7,4118
0,0067	2,2639	0,0111	3,6624	0,0155	4,9909	0,0199	6,2495	0,0243	7,4381
0,0068	2,2965	0,0112	3,6933	0,0156	5,0203	0,0200	6,2773	0,0244	7,4643
0,0069	2,3290	0,0113	3,7243	0,0157	5,0496	0,0201	6,3050	0,0245	7,4904
0,0070	2,3615	0,0114	3,7552	0,0158	5,0789	0,0202	6,3327	0,0246	7,5166
0,0071	2,3939	0,0115	3,7860	0,0159	5,1082	0,0203	6,3604	0,0247	7,5426
0,0072	2,4263	0,0116	3,8169	0,0160	5,1374	0,0204	6,3881	0,0248	7,5687
0,0073	2,4587	0,0117	3,8477	0,0161	5,1666	0,0205	6,4157	0,0249	7,5947
0,0074	2,4911	0,0118	3,8784	0,0162	5,1958	0,0206	6,4432	0,0250	7.6207
0,0075	2,5234	0,0119	3,9091	0,0163	5,2249	0,0207	6,4708	0,0251	7,6467
0,0076	2,5556	0,0120	3,9398	0,0164	5,2540	0,0208	6,4130	0,0252	7,6726
0,0077	2,5879	0,0121	3,9705	0,0165	5,2831	0,0209	6,5257	0,0253	7,6984
0,0078	2,6201	0,0122	4,0011	0,0166	5,3121	0,0210	6,5532	0,0254	7,7243
0,0079	2,6522	0,0123	4,0316	0,0167	5,3411	0,0211	6,5806	0,0255	7,7501
0,0080	2,6844	0,0124	4,0622	0,0168	5,3700	0,0212	6,6079	0,0256	7,7758
0,0081	2,7165	0,0125	4,0927	0,0169	5,3989	0,0213	6,6352	0,0257	7,8016
0,0082	2,7485	0,0126	4,1231	0,0170	5,4278	0,0214	6,6625	0,0258	7,8273
0,0083	2,7805	0,0127	4,1536	0,0171	5,4567	0,0215	6,6898	0,0259	7,8529

TABEL A-25 (lanjutan)
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 40 Mpa, *fy*=350 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0260	7,8786	0,0279	8,3585	0,0298	8,8254	0,0317	9,2793	0,0336	9,7201
0,0261	7,9041	0,0280	8,3834	0,0299	8,8496	0,0318	9,3028	0,0337	9,7430
0,0262	7,9297	0,0281	8,4083	0,0300	8,8738	0,0319	9,3263	0,0338	9,7653
0,0263	7,9552	0,0282	8,4331	0,0301	8,8980	0,0320	9,3498	0,0339	9,7855
0,0264	7,9807	0,0283	3,4579	0,0302	8,9221	0,0321	9,3732	0,0340	9,8113
0,0265	8,0061	0,0284	8,4826	0,0303	8,9461	0,0322	9,3966	0,0341	9,8339
0,0266	8,0315	0,0285	8,5074	0,0304	8,9702	0,0323	9,4199	0,0342	9,8566
0,0267	8,0569	0,0286	8,5320	0,0305	8,9942	0,0324	9,4432	0,0343	9,8792
0,0268	8,0822	0,0287	8,5567	0,0306	9,0181	0,0325	9,4665	0,0344	9,9018
0,0269	8,1075	0,0288	8,5813	0,0307	9,0420	0,0326	9,4897	0,0345	9,9244
0,0270	8,1328	0,0289	8,6059	0,0308	9,0659	0,0327	9,5129	0,0346	9,9469
0,0271	8,1580	0,0290	8,6304	0,0309	9,0896	0,0328	9,5361	0,0347	9,9664
0,0272	8,1832	0,0291	8,6549	0,0310	9,1136	0,0329	9,5592	0,0348	9,9918
0,0273	8,2084	0,0292	8,6794	0,0311	9.1374	0,0330	9,5823	0,0349	10,014
0,0274	8,2335	0,0293	8,7038	0,0312	9,1611	0,0331	9,6054	0,0350	10,036
0,0275	8,2586	0,0294	8,7282	0,0313	9,1848	0,0332	9,6284	0,0351	10,058
0,0276	8,2836	0,0295	8,7526	0,0314	9,2085	0,0333	9,6514	0,0352	10,081
0,0277	8,3086	0,0296	8,7769	0,0315	9,2321	0,0334	9,6743	0,0353	10,103
0,0278	8,3336	0,0297	8,8012	0,0316	9,2557	0,0335	9,6972	0,0354	10,125

TABEL A-26
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 17 Mpa, *fy*=400 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0035	1,3320	0,0052	1,9298	0,0069	2,4956	0,0086	3,0293	0,0103	3,5309
0,0036	1,3680	0,0053	1,9640	0,0070	2,5279	0,0087	3,0597	0,0104	3,5584
0,0037	1,4040	0,0054	1,9981	0,0071	2,5601	0,0088	3,0900	0,0105	3,5878
0,0038	1,4398	0,0055	2,0320	0,0072	2,5921	0,0089	3,1202	0,0106	3,6161
0,0039	1,4755	0,0056	2,0659	0,0073	2,6241	0,0090	3,1502	0,0107	3,6442
0,0040	1,5112	0,0057	2,0996	0,0074	2,6559	0,0091	3,1802	0,0108	3,6723
0,0041	1,5467	0,0058	2,1332	0,0075	2,6876	0,0092	3,2100	0,0109	3,7003
0,0042	1,5820	0,0059	2,1667	0,0076	2,7193	0,0093	3,2397	0,0110	3,7281
0,0043	1,6173	0,0060	2,2001	0,0077	2,7508	0,0094	3,2693	0,0111	3,7588
0,0044	1,6525	0,0061	2,2334	0,0078	2,7822	0,0095	3,2988	0,0112	3,7834
0,0045	1,6876	0,0062	2,2665	0,0079	2,8134,	0,0096	3,3282	0,0113	3,8109
0,0046	1,7225	0,0063	2,2996	0,0080	2,8446	0,0097	3,3575	0,0114	3,8383
0,0047	1,7573	0,0064	2,3326	0,0081	2,8757	0,0098	3,3867	0,0115	3,8686
0,0048	1,7921	0,0065	2,3654	0,0082	2,9066	0,0099	3,4158	0,0116	3,8928
0,0049	1,8267	0,0066	2,3981	0,0083	2,9375	0,0100	3,4447	0,0117	3,9199
0,0050	1,8612	0,0067	2,4307	0,0084	2,9682	0,0101	3,4735	0,0118	3,9488
0,0051	1,8956	0,0068	2,4632	0,0085	2,9988	0,0102	3,5023	0,0119	3,9766
0,0120	4,0004	0,0124	4,1062	0,0128	4,2102	0,0132	4,3125	0,0136	4,4129
0,0121	4,0270	0,0125	4,1324	0,0129	4,2359	0,0133	4,3377	0,0137	4,4378
0,0122	4,0535	0,0126	4,1584	0,0130	4,2616	0,0134	4,3629	0,0138	4,4625
0,0123	4,0799	0,0127	4,1844	0,0131	4,2871	0,0135	4,3880		

TABEL A-27
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 20 Mpa, *fy*=400 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0035	1,3422	0,0061	2,2644	0,0087	3,1227	0,0113	3,9173	0,0139	4,6480
0,0036	1,3788	0,0062	2,2986	0,0088	3,1545	0,0114	3,9466	0,0140	4,6749
0,0037	1,4154	0,0063	2,3327	0,0089	3,1861	0,0115	3,9758	0,0141	4,7016
0,0038	1,4518	0,0064	2,3667	0,0090	3,2177	0,0116	4,0049	0,0142	4,7283
0,0039	1,4882	0,0065	2,4006	0,0091	3,2491	0,0117	4,0339	0,0143	4,7548
0,0040	1,5245	0,0066	2,4344	0,0092	3,2805	0,0118	4,0628	0,0144	4,7813
0,0041	1,5607	0,0067	2,4681	0,0093	3,3118	0,0119	4,0916	0,0145	4,8076
0,0042	1,5967	0,0068	2,5017	0,0094	3,3429	0,0120	4,1203	0,0146	4,8339
0,0043	1,6327	0,0069	2,5353	0,0095	3,3740	0,0121	4,1489	0,0147	4,8601
0,0044	1,6686	0,0070	2,5687	0,0096	3,4050	0,0122	4,1775	0,0148	4,8861
0,0045	1,7044	0,0071	2,6021	0,0097	3,4359	0,0123	4,2059	0,0149	4,9121
0,0046	1,7401	0,0072	2,6353	0,0098	3,4667	0,0124	4,2343	0,0150	4,9380
0,0047	1,7757	0,0073	2,6685	0,0099	3,4974	0,0125	4,2625	0,0151	4,9638
0,0048	1,8113	0,0074	2,7015	0,0100	3,5280	0,0126	4,2907	0,0152	4,9895
0,0049	1,8467	0,0075	2,7345	0,0101	3,5585	0,0127	4,3187	0,0153	5,0151
0,0050	1,8820	0,0076	2,7674	0,0102	3,5889	0,0128	4,3467	0,0154	5,0406
0,0051	1,9172	0,0077	2,8002	0,0103	3,6193	0,0129	4,3745	0,0155	5,0660
0,0052	1,9524	0,0078	2,8328	0,0104	3,6495	0,0130	4,4023	0,0156	5,0913
0,0053	1,9874	0,0079	2,8654	0,0105	3,6796	0,0131	4,4300	0,0157	5,1166
0,0054	2,0224	0,0080	2,8979	0,0106	3,7097	0,0132	4,4576	0,0158	5,1417
0,0055	2,0572	0,0081	2,9303	0,0107	3,7396	0,0133	4,4851	0,0159	5,1667
0,0056	2,0920	0,0082	2,9626	0,0108	3,7695	0,0134	4,5125	0,0160	5,1917
0,0057	2,1266	0,0083	2,9948	0,0109	3,7992	0,0135	4,5398	0,0161	5,2165
0,0058	2,1612	0,0084	3,0270	0,0110	3,8289	0,0136	4,5670	0,0162	5,2413
0,0059	2,1957	0,0085	3,0590	0,0111	3,8584	0,0137	4,5941	0,0163	5,2659
0,0060	2,2301	0,0086	3,0909	0,0112	3,8879	0,0138	4,6211		

TABEL A-28
RASIO PENULANGAN (ρ) va KOEFISIEN TAHANAN (k)
(fc' = 25 Mpa, fy=400 Mpa, k dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0035	1,3537	0,0069	2,5802	0,0103	3,7194	0,0137	4,7713	0,0171	5,7359
0,0036	1,3911	0,0070	2,6150	0,0104	3,7516	0,0138	4,8009	0,0172	5,7629
0,0037	1,4283	0,0071	2,6497	0,0105	3,7837	0,0139	4,8304	0,0173	5,7899
0,0038	1,4655	0,0072	2,6843	0,0106	3,8157	0,0140	4,8599	0,0174	5,8168
0,0039	1,5026	0,0073	2,7188	0,0107	3,8477	0,0141	4,8893	0,0175	5,8436
0,0040	1,5396	0,0074	2,7532	0,0108	3,8796	0,0142	4,9186	0,0176	5,8703
0,0041	1,5765	0,0075	2,7876	0,0109	3,9114	0,0143	4,9478	0,0177	5,8970
0,0042	1,6134	0,0076	2,8219	0,0110	3,9431	0,0144	4,9770	0,0178	5,9236
0,0043	1,6502	0,0077	2,8561	0,0111	3,9748	0,0145	5,0061	0,0179	5,9501
0,0044	1,6869	0,0078	2,8903	0,0112	4,0063	0,0146	5,0351	0,0180	5,9766
0,0045	1,7235	0,0079	2,9243	0,0113	4,0378	0,0147	5,0640	0,0181	6,0029
0,0046	1,7601	0,0080	2,9583	0,0114	4,0693	0,0148	5,0929	0,0182	6,0292
0,0047	1,7966	0,0081	2,9923	0,0115	4,1006	0,0149	5,1217	0,0183	6,0555
0,0048	1,8330	0,0082	3,0261	0,0116	4,1319	0,0150	5,1504	0,0184	6,0816
0,0049	1,8693	0,0083	3,0599	0,0117	4,1631	0,0151	5,1790	0,0185	6,1077
0,0050	1,9056	0,0084	3,0936	0,0118	4,1942	0,0152	5,2076	0,0186	6,1337
0,0051	1,9418	0,0085	3,1272	0,0119	4,2253	0,0153	5,2361	0,0187	6,1596
0,0052	1,9779	0,0086	3,1607	0,0120	4,2563	0,0154	5,2645	0,0188	6,1854
0,0053	2,0139	0,0087	3,1942	0,0121	4,2872	0,0155	5,2928	0,0189	6,2112
0,0054	2,0499	0,0088	3,2276	0,0122	4,3180	0,0156	5,3211	0,0190	6,2369
0,0055	2,0858	0,0089	3,2609	0,0123	4,3487	0,0157	5,3493	0,0191	6,2625
0,0056	2,1216	0,0090	3,2941	0,0124	4,3794	0,0158	5,3774	0,0192	6,2880
0,0057	2,1573	0,0091	3,3273	0,0125	4,4100	0,0159	5,4054	0,0193	6,3135
0,0058	2,1930	0,0092	3,3604	0,0126	4,4405	0,0160	5,4333	0,0194	6,3389
0,0059	2,2286	0,0093	3,3934	0,0127	4,4710	0,0161	5,4612	0,0195	6,3642
0,0060	2,2641	0,0094	3,4264	0,0128	4,5013	0,0162	5,4890	0,0196	6,3894
0,0061	2,2995	0,0095	3,4592	0,0129	4,5316	0,0163	5,5168	0,0197	6,4146
0,0062	2,3349	0,0096	3,4920	0,0130	4,5619	0,0164	5,5444	0,0198	6,4397
0,0063	2,3701	0,0097	3,5247	0,0131	4,5920	0,0165	5,5720	0,0199	6,4647
0,0064	2,4053	0,0098	3,5574	0,0132	4,6221	0,0166	5,5995	0,0200	6,4896
0,0065	2,4405	0,0099	3,5899	0,0133	4,6521	0,0167	5,6269	0,0201	6,5145
0,0066	2,4755	0,0100	3,6224	0,0134	4,6820	0,0168	5,6543	0,0202	6,5392
0,0067	2,5105	0,0101	3,6548	0,0135	4,7118	0,0169	5,6815	0,0203	6,5639
0,0068	2,5454	0,0102	3,6871	0,0136	4,7416	0,0170	5,7087		

TABEL A-29
RASIO PENULANGAN (ρ) va KOEFISIEN TAHANAN (k)
(fc' = 30 Mpa, fy=400 Mpa, k dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0035	1,3615	0,0077	2,8934	0,0119	4,3144	0,0161	5,6244	0,0203	6,8233
0,0036	1,3992	0,0078	2,9286	0,0120	4,3469	0,0162	5,6542	0,0204	6,8505
0,0037	1,4369	0,0079	2,9636	0,0121	4,3793	0,0163	5,6840	0,0205	6,8776
0,0038	1,4746	0,0080	2,9986	0,0122	4,4117	0,0164	5,7137	0,0206	6,9047
0,0039	1,5121	0,0081	3,0335	0,0123	4,4439	0,0165	5,7433	0,0207	6,9317
0,0040	1,5497	0,0082	3,0684	0,0124	4,4762	0,0166	5,7729	0,0208	6,9586
0,0041	1,5871	0,0083	3,1032	0,0125	4,5083	0,0167	5,8024	0,0209	6,9855
0,0042	1,6245	0,0084	3,1380	0,0126	4,5404	0,0168	5,8319	0,0210	7,0123
0,0043	1,6618	0,0085	3,1727	0,0127	4,5725	0,0169	5,8613	0,0211	7,0391
0,0044	1,6991	0,0086	3,2073	0,0128	4,6045	0,0170	5,8906	0,0212	7,0658
0,0045	1,7363	0,0087	3,2418	0,0129	4,6364	0,0171	5,9199	0,0213	7,0924
0,0046	1,7734	0,0088	3,2763	0,0130	4,6682	0,0172	5,9491	0,0214	7,1190
0,0047	1,8105	0,0089	3,3108	0,0131	4,7000	0,0173	5,9782	0,0215	7,1455
0,0048	1,8475	0,0090	3,3451	0,0132	4,7317	0,0174	6,0073	0,0216	7,1719
0,0049	1,8844	0,0091	3,3794	0,0133	4,7634	0,0175	6,0363	0,0217	7,1983
0,0050	1,9213	0,0092	3,4137	0,0134	4,7950	0,0176	6,0653	0,0218	7,2246
0,0051	1,9582	0,0093	3,4478	0,0135	4,8265	0,0177	6,0942	0,0219	7,2508
0,0052	1,9949	0,0094	3,4820	0,0136	4,8580	0,0178	6,1230	0,0220	7,2770
0,0053	2,0316	0,0095	3,5160	0,0137	4,8894	0,0179	6,1518	0,0221	7,3031
0,0054	2,0682	0,0096	3,5500	0,0138	4,9207	0,0180	6,1805	0,0222	7,3292
0,0055	2,1048	0,0097	3,5839	0,0139	4,9520	0,0181	6,2091	0,0223	7,3552
0,0056	2,1413	0,0098	3,6178	0,0140	4,9833	0,0182	6,2377	0,0224	7,3811
0,0057	2,1778	0,0099	3,6516	0,0141	5,0144	0,0183	6,2662	0,0225	7,4070
0,0058	2,2141	0,0100	3,6853	0,0142	5,0455	0,0184	6,2947	0,0226	7,4328
0,0059	2,2505	0,0101	3,7190	0,0143	5,0765	0,0185	6,3231	0,0227	7,4586
0,0060	2,2867	0,0102	3,7526	0,0144	5,1075	0,0186	6,3514	0,0228	7,4842
0,0061	2,3229	0,0103	3,7862	0,0145	5,1384	0,0187	6,3796	0,0229	7,5099
0,0062	2,3590	0,0104	3,8197	0,0146	5,1693	0,0188	6,4078	0,0230	7,5354
0,0063	2,3951	0,0105	3,8531	0,0147	5,2000	0,0189	6,4360	0,0231	7,5609
0,0064	2,4311	0,0106	3,8864	0,0148	5,2308	0,0190	6,4641	0,0232	7,5863
0,0065	2,4671	0,0107	3,9197	0,0149	5,2614	0,0191	6,4921	0,0233	7,6117
0,0066	2,5029	0,0108	3,9530	0,0150	5,2920	0,0192	6,5200	0,0234	7,6370
0,0067	2,5387	0,0109	3,9861	0,0151	5,3225	0,0193	6,5479	0,0235	7,6623
0,0068	2,5745	0,0110	4,0193	0,0152	5,3530	0,0194	6,5757	0,0236	7,6874
0,0069	2,6102	0,0111	4,0523	0,0153	5,3834	0,0195	6,6035	0,0237	7,7125
0,0070	2,6458	0,0112	4,0853	0,0154	5,4137	0,0196	6,6312	0,0238	7,7376
0,0071	2,6814	0,0113	4,1182	0,0155	5,4440	0,0197	6,6588	0,0239	7,7626
0,0072	2,7169	0,0114	4,1511	0,0156	5,4742	0,0198	6,6864	0,0240	7,7875
0,0073	2,7523	0,0115	4,1839	0,0157	5,5044	0,0199	6,7139	0,0241	7,8124
0,0074	2,7877	0,0116	4,2166	0,0158	5,5345	0,0200	6,7413	0,0242	7,8372
0,0075	2,8230	0,0117	4,2493	0,0159	5,5645	0,0201	6,7687	0,0243	7,8619
0,0076	2,8582	0,0118	4,2819	0,0160	5,5945	0,0202	6,7960	0,0244	7,8866

TABEL A-30
RASIO PENULANGAN (ρ) va KOEFISIEN TAHANAN (k)
(fc' = 35 Mpa, fy=400 Mpa, k dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0035	1,3670	0,0079	2,9917	0.0123	4.5119	0.0167	5,9278	0,0211	7,2392
0,0036	1,4050	0,0080	3,0274	0,0124	4,5453	0,0168	5,9588	0,0212	7,2678
0,0037	1,4431	0,0081	3,0630	0,0125	4,5786	0,0169	5,9897	0,0213	7,2963
0,0038	1,4811	0,0082	3,0986	0,0126	4,6118	0,0170	6.0205	0,0214	7,3248
0,0039	1,5190	0,0083	3,1342	0,0127	4,6450	0,0171	6,0513	0,0215	7,3532
0,0040	1.556C	0,0084	3,1697	0,0128	4,6781	0,0172	6,0821	0,0216	7,3816
0,0041	1,5947	0,0085	3,2051	0,0129	4.7112	0,0173	6.1128	0,0217	7,4099
0,0042	1,6324	0,0086	3,2405	0,0130	4,7442	0,0174	6,1434	0,0218	7,4382
0,0043	1,6701	0,0087	3,2759	0.0131	4,7771	0,0175	6,1740	0,0219	7,4664
0,0044	1,7078	0,0088	3,3111	0,0132	4,8100	0,0176	6,2045	0,0220	7,4946
0,0045	1,7454	0,0089	3,3464	0,0133	4,8429	0,0177	6,2350	0,0221	7,5227
0,0046	1,7829	0,0090	3,3815	0,0134	4,8757	0.0178	6,2654	0,0222	7,5507
0,0047	1,8204	0,0091	3,4166	0,0135	4,9084	0,0179	6,2958	0,0223	7,5787
0,0048	1,8579	0,0092	3,4517	0,0136	4,9411	0,0180	6,3261	0,0224	7,6067
0,0049	1,8952	0,0093	3,4867	0,0137	4,9738	0,0181	6,3564	0,0225	7,6346
0,0050	1,9326	0,0094	3,5217	0,0138	5,0064	0,0182	6,3866	0,0226	7,6624
0,0051	1,9698	0,0095	3,5566	0,0139	5,0389	0,0183	6,4168	0,0227	7,6902
0,0052	2,0071	0,0096	3,5914	0,0140	5,0714	0,0184	6,4469	0,0228	7,7179
0,0053	2,0442	0,0097	3,6262	0,0141	5,1038	0,0185	6,4769	0,0229	7,7456
0,0054	2,0814	0,0098	3,6610	0,0142	5,1361	0,0186	6,5069	0,0230	7,7732
0,0055	2,1184	0,0099	3,6957	0,0143	5,1685	0,0187	6,5368	0,0231	7,8008
0,0056	2,1554	0,0100	3,7303	0,0144	5.2007	0,0188	6,5667	0,0232	7,8283
0,0057	2,1924	0,0101	3,7649	0,0145	5,2329	0,0189	6,5966	0,0233	7,8557
0,0058	2,2293	0,0102	3,7994	0,0146	5,2651	0,0190	6,6263	0,0234	7,8832
0,0059	2,2661	0,0103	3,8339	0,0147	5,2972	0,0191	6,6561	0,0235	7,9105
0,0060	2,3029	0,0104	3,8683	0,0148	5,3292	0,0192	6.6857	0,0236	7,9378
0,0061	2,3396	0.0105	3,9026	0,0149	5,3612	0.0193	6,7153	0,0237	7,9650
0,0062	2,3763	0,0106	3,9369	0,0150	5,3931	0,0194	6,7449	0,0238	7,9922
0,0063	2,4130	0,0107	3,9712	0,0151	5,4250	0,0195	6,7744	0,0239	8,0194
0,0064	2,4495	0,0108	4,0054	0,0152	5,4569	0.0196	6,8039	0.0240	8,0464
0,0065	2,4860	0,0109	4,0396	0,0153	5,4886	0,0197	6,8333	0.0241	8,0735
0,0066	2,5225	0,0110	4,0736	0,0154	5,5203	0,0198	6.8626	0,0242	8,1004
0,0067	2,5589	0,0111	4,1077	0,0155	5,5520	0,0199	6,8919	0,0243	8,1274
0,0068	2,5953	0,0112	4,1417	0,0156	5,5836	0,0200	6,9211	0.0244	8,1542
0,0069	2,6316	0,0113	4,1756	0,0157	5,6152	0,0201	6,9503	0,0245	8,1810
0,0070	2,6678	0,0114	4,2095	0,0158	5,6467	0.0202	6,9795	0,0246	8,2078
0,0071	2,7040	0,0115	4,2433	0,0159	5,6781	0,0203	7,0085	0,0247	8,2345
0,0072	2,7402	0,0116	4,2771	0,0160	5,7095	0.0204	7,0376	0,0248	8,2611
0,0073	2,7763	0,0117	4,3108	0,0161	5,7409'	0.0205	7,0665	0,0249	8,2877
0,0074	2,8123	0,0118	4,3444	0,0162	5,7722	0.0206	7,0954	0,0250	8,3143
0,0075	2,8483	0,0119	4,3781	0,0163	5,8034	0,0207	7.1243	0,0251	8,3408
0,0076	2,8842	0,0120	4,4116	0,0164	5,8346	0,0208	7,1531	0,0252	8,3672
0,0077	2,9201	0,0121	4,4451	0,0165	5,8657	0,0209	7,1819	0,0253	8,3936
0,0078	2,9559	0,0122	4,4786	0,0166	5,8968	0,0210	7,2106	0,0254	8,4199
0,0255	8,4462	0,0259	8,5507	0,0263	8,6544	0,0267	8,7572	0,0271	8,8592
0,0256	8,4724	0,0260	8,5767	0,0264	8,6802	0,0268	8,7828		
0,0257	8,4986	0,0261	8,6027	0,0265	8,7015	0,0269	8,8083		
0,0258	8,5247	0,0262	8,6286	0,0266	8,7316	0,0270	8,8338		

TABEL A-31
RASIO PENULANGAN (ρ) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 40 Mpa, *fy*=400 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0035	1,3711	0,0067	2,5741	0,0099	3,7287	0,0131	4,8350	0,0163	5,8930
0,0036	1,4094	0,0068	2,6109	0,0100	3,7640	0,0132	4,8688	0,0164	5,9253
0,0037	1,4477	0,0069	2,6476	0,0101	3,7993	0,0133	4,9025	0,0165	5,9575
0,0038	1,4859	0,0070	2,6844	0,0102	3,8345	0,0134	4,9362	0,0166	5,9897
0,0039	1,5241	0,0071	2,7210	0,0103	3,8696	0,0135	4,9699	0,0167	6,0218
0,0040	1,5622	0,0072	2,7577	0,0104	3,9047	0,0136	5,0035	0,0168	6,0539
0,0041	1,6003	0,0073	2,7942	0,0105	3,9398	0,0137	5,0371	0,0169	6,0860
0,0042	1,6384	0,0074	2,8308	0,0106	3,9748	0,0138	5,0706	0,0170	6,1180
0,0043	1,6764	0,0075	2,8673	0,0107	4,0098	0,0139	5,1040	0,0171	6,1499
0,0044	1,7143	0,0076	2,9037	0,0108	4,0447	0,0140	5,1374	0,0172	6,1818
0,0045	1,7522	0,0077	2,9401	0,0109	4,0796	0,0141	5,1708	0,0173	6,2137
0,0046	1,7901	0,0078	2,9764	0,0110	4,1144	0,0142	5,2041	0,0174	6,2455
0,0047	1,8279	0,0079	3,0127	0,0111	4,1492	0,0143	5,2374	0,0175	6,2773
0,0048	1,8656	0,0080	3,0490	0,0112	4,1840	0,0144	5,2706	0,0176	6,3090
0,0049	1,9033	0,0081	3,0852	0,0113	4,2187	0,0145	5,3038	0,0177	6,3406
0,0050	1,9410	0,0082	3,1213	0,0114	4,2533	0,0146	5,3369	0,0178	6,3723
0,0051	1,9786	0,0083	3,1574	0,0115	4,2879	0,0147	5,3700	0,0179	6,4038
0,0052	2,0162	0,0084	3,1935	0,0116	4,3224	0,0148	5,4031	0,0180	6,4354
0,0053	2,0537	0,0085	3,2295	0,0117	4,3569	0,0149	5,4361	0,0181	6,4668
0,0054	2,0912	0,0086	3,2655	0,0118	4,3914	0,0150	5,4690	0,0182	6,4983
0,0055	2,1286	0,0087	3,3014	0,0119	4,4258	0,0151	5,5019	0,0183	6,5297
0 0056	2,1660	0,0088	3,3372	0,0120	4,4602	0,0152	5,5347	0,0184	6,5610
0,0057	2,2033	0,0089	3,3731	0,0121	4,4945	0,0153	5,5675	0,0185	6,5923
0,0058	2,2406	0,0090	3,4088	0,0122	4,5287	0,0154	5,6003	0,0186	6,6235
0,0059	2,2778	0,0091	3,4446	0,0123	4,5630	0.0155	5,6330	0,0187	6,6547
0,0060	2,3150	0,0092	3,4802	0,0124	4,5971	0,0156	5,6657	0,0188	6,6859
0,0061	2,3522	0,0093	3,5159	0,0125	4,6313	0,0157	5,6983	0,0189	6,7170
0,0062	2,3893	0,0094	3,5515	0,0126	4,6653	0,0158	5,7308	0,0190	6,7480
0,0063	2,4263	0,0095	3,5870	0,0127	4,6994	0,0159	5,7634	0,0191	6,7790
0,0064	2,4633	0,0096	3,6225	0,0128	4,7333	0,0160	5,7958	0,0192	6,8100
0,0065	2,5003	0,0097	3,6579	0,0129	4,7673	0,0161	5,8283	0,0193	6,8409
0,0066	2,5372	0,0098	3,6933	0,0130	4,8012	0,0162	5,8606	0,0194	6,8718

TABEL A-31 (Lanjutan)
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 40 Mpa, *fy*=400 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0195	6,9026	0,0216	7,5389	0,0237	8,1544	0,0258	8,7491	0,0279	9,3230
0,0196	6,9334	0,0217	7,5687	0,0238	8,1832	0,0259	8,7769	0,0280	9,3498
0,0197	6,9641	0,0218	7,5984	0,0239	8,2119	0,0260	8,8046	0,0281	9,3765
0,0198	6,9948	0,0219	7,6281	0,0240	8,2406	0,0261	8,8323	0,0282	9,4032
0,0199	7,0254	0,0220	7,6578	0,0241	8,2693	0,0262	8.8600	0,0283	9,4299
0,0200	7,0560	0,0221	7,6874	0,0242	8,2979	0,0263	8.8876	0,0284	9,4565
0,0201	7,0865	0,0222	7,7169	0,0243	8,3264	0,0264	6,9152	0,0285	9,4831
0,0202	7,1170	0,0223	7,7464	0,0244	8,3550	0,0265	8,9427	0,0286	9,5096
0,0203	7,1475	0,0224	7,7758	0,0245	8,3834	0,0266	8,9702	0,0287	9,5361
0,0204	7,1779	0,0225	7,8053	0,0246	8,4118	0,0267	8,9976	0,0288	9,5625
0,0205	7,2082	0,0226	7,8346	0,0247	8,4402	0,0268	9,0250	0,0289	9,5889
0,0206	7,2385	0,0227	7,8639	0,0248	8,4685	0,0269	9,0523	0,0290	9,6152
0,0207	7,2688	0,0228	7,8932	0,0249	8,4968	0,0270	9,0796	0,0291	9,6415
0,0208	7,2990	0,0229	7,9224	0,0250	8,5250	0,0271	9,1068	0,0292	9,6678
0,0209	7,3291	0,0230	7,9516	0,0251	8,5532	0,0272	9,1340	0,0293	9,6940
0,0210	7,3592	0,0231	7,9807	0,0252	8,5813	0,0273	9,1611	0,0294	9,7201
0,0211	7,3893	0,0232	8,0098	0,0253	8,6094	0,0274	9,1882	0,0295	9,7462
0,0212	7,4193	0,0233	8,0388	0,0254	8,6374	0,0275	9,2153		
0,0213	7,4493	0,0234	8,0678	0,0255	8,6654	0,0276	9,2422		
0,0214	7,4792	0,0235	8,0967	0,0256	8,6934	0,0277	9,2692		
0,0215	7,5091	0,0236	8,1256	0,0257	8,7212	0,0278	9,2961		

TABEL A-32
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 17 Mpa, *fy*=500 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0028	1,3320	0,0043	1,9896	0,0058	2,6081	0,0073	3,1876	0,0088	3,7281
0,0029	1,3770	0,0044	2,0320	0,0059	2,6480	0,0074	3,2249	0,0089	3,7627
0,0030	1,4219	0,0045	2,0743	0,0060	2,6876	0,0075	3,2619	0,0090	3,7972
0,0031	1,4666	0,0046	2,1164	0,0061	2,7271	0,0076	3,2988	0,0091	3,8315
0,0032	1,5112	0,0047	2,1583	0,0062	2,7665	0,0077	3,3356	0,0092	3,8656
0,0033	1,5555	0,0048	2,2001	0,0063	2,8056	0,0078	3,3721	0,0093	3,8996
0,0034	1,5997	0,0049	2,2417	0,0064	2,8446	0,0079	3,4085	0,0094	3,9333
0,0035	1,6437	0,0050	2,2831	0,0065	2,8834	0,0080	3,4447	0,0095	3,9669
0,0036	1,6876	0,0051	2,3243	0,0066	2,9221	0,0081	3,4807	0,0096	4,0004
0,0037	1,7312	0,0052	2,3654	0,0067	2,9605	0,0082	3,5166	0,0097	4,0336
0,0038	1,7747	0,0053	2,4063	0,0068	2,9988	0,0083	3,5523	0,0098	4,0667
0,0039	1,8180	0,0054	2,4470	0,0069	3,0369	0,0084	3,5878	0,0099	4,0996
0,0040	1,8612	0,0055	2,4875	0,0070	3,0749	0,0085	3,6231	0,0100	4,1324
0,0041	1,9041	0,0056	2,5279	0,0071	3,1126	0.0086	3,6583		
0,0042	1,9469	0,0057	2,5681	0,0072	3,1502	0,0087	3,6933		

TABEL A-33
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 20 Mpa, *fy*=500 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0028	1,3422	0,0047	2,1871	0,0066	2,9787	0,0085	3,7172	0,0104	4,4023
0,0029	1,3880	0,0048	2,2301	0,0067	3,0189	0,0086	3,7545	0,0105	4,4369
0,0030	1,4336	0,0049	2,2729	0,0068	3,0590	0,0087	3,7918	0,0106	4,4713
0,0031	1,4791	0,0050	2,3156	0,0069	3,0989	0,0088	3,8289	0,0107	4,5056
0,0032	1,5245	0,0051	2,3582	0,0070	3,1386	0,0089	3,8658	0,0108	4,5398
0,0033	1,5697	0,0052	2,4006	0,0071	3,1782	0,0090	3,9026	0,0109	4,5738
0,0034	1,6147	0,0053	2,4428	0,0072	3,2177	0,0091	3,9393	0,0110	4,6076
0,0035	1,6597	0,0054	2,4849	0,0073	3,2570	0,0092	3,9758	0,0111	4,6413
0,0036	1,7044	0,0055	2,5269	0,0074	3,2961	0,0093	4,0121	0,0112	4,6749
0,0037	1,7490	0,0056	2,5687	0,0075	3,3352	0,0094	4,0483	0,0113	4,7083
0,0038	1,7935	0,0057	2,6104	0,0076	3,3740	0,0095	4,0844	0,0114	4,7415
0,0039	1,8378	0,0058	2,6519	0,0077	3,4127	0,0096	4,1203	0,0115	4,7747
0,0040	1,8820	0,0059	2,6933	0,0078	3,4513	0,0097	4,1561	0,0116	4,8076
0,0041	1,9260	0,0060	2,7345	0,0079	3,4897	0,0098	4,1917	0,0117	4,8404
0,0042	1,9699	0,0061	2,7756	0,0080	3,5280	0,0099	4,2272	0,0118	4,8731
0,0043	2,0136	0,0062	2,8165	0,0081	3,5661	0,0100	4,2625		
0,0044	2,0572	0,0063	2,8573	0,0082	3,6041	0,0101	4,2977		
0,0045	2,1007	0,0064	2,8979	0,0083	3,6419	0,0102	4,3327		
0,0046	2,1439	0,0065	2,9384	0,0084	3,6796	0,0103	4,3676		

TABEL A-34
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 25 Mpa, *fy*=500 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0028	1,3537	0,0053	2,4843	0,0078	3,5410	0,0103	4,5241	0,0128	5,4333
0,0029	1,4004	0,0054	2,5280	0,0079	3,5818	0,0104	4,5619	0,0129	5,4682
0,0030	1,4469	0,0055	2,5715	0,0080	3,6224	0,0105	4,5995	0,0130	5,5029
0,0031	1,4933	0,0056	2,6150	0,0081	3.6629	0,0106	4,6371	0.0131	5,5375
0,0032	1,5396	0,0057	2,6583	0,0082	3,7033	0,0107	4,6745	0,0132	5,5720
0,0033	1,5857	0,0058	2,7015	0,0083	3,7435	0,0108	4,7118	6,0133	5,6063
0,0034	1,6318	0,0059	2,7446	0,0084	3,7837	0,0109	4,7490	0,0134	5,6406
0,0035	1,6777	0,0060	2,7876	0,0085	3,8237	0,0110	4,7861	0,0135	5,6747
0,0036	1,7235	0,0061	2,8305	0,0086	3,8636	0,0111	4,8231	0,0136	5,7087
0,0037	1,7692	0,0062	2,8732	0,0087	3,9034	0,0112	4,8599	0,0137	5,7426
0,0038	1,8148	0,0063	2,9158	0,0088	3,9431	0,0113	4,8966	0,0138	5,7764
0,0039	1,8603	0,0064	2,9583	0,0089	3,9827	0,0114	4,9332	0,0139	5,8101
0,0040	1,9056	0,0065	3,0007	0,0090	4,0221	0,0115	4,9697	0,0140	5,8436
0,0041	1,9508	0,0066	3,0430	0,0091	4,0614	0,0116	5,0061	0,0141	5,8770
0,0042	1,9959	0,0067	3,0851	0,0092	4,1006	0,0117	5,0423	0,0142	5,9103
0,0043	2,0409	0,0068	3,1272	0,0093	4,1397	0,0118	5,0785	0,0143	5,9435
0,0044	2,0858	0,0069	3,1691	0,0094	4,1787	0,0119	5,1145	0,0144	5,9766
0,0045	2,1305	0,0070	3,2109	0,0095	4,2175	0,0120	5,1504	0,0145	6,0095
0,0046	2,1752	0,0071	3,2526	0,0096	4,2563	0.0121	5,1862	0,0146	6,0424
0,0047	2,2197	0,0072	3,2941	0,0097	4,2949	0,0122	5,2218	0,0147	6,0751
0,0048	2,2641	0,0073	3,3356	0,0098	4,3334	0,0123	5,2574	0,0148	6,1077

0,0049	2,3083	0,0074	3,3769	0,0099	4,3717	0,0124	5,2928		
0,0050	2,3525	0,0075	3,4181	0,0100	4,4100	0,0125	5,3281		
0,0051	2,3965	0,0076	3,4592	0,0101	4,4481	0,0126	5,3633		
0,0052	2,4405	0,0077	3,5002	0,0102	4,4862	0,0127	5,3984		

TABEL A-35
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 30 Mpa, *fy*=500 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*	*ρ*	*k*
0,0028	1,3615	0,0058	2,7346	0,0088	4,0193	0,0118	5,2154	0,0148	6,3231
0,0029	1,4087	0,0059	2,7789	0,0089	4,0606	0,0119	5,2538	0,0149	6,3585
0,0030	1,4558	0,0060	2,8230	0,0090	4,1018	0,0120	5,2920	0,0150	6,3938
0,0031	1,5028	0,0061	2,8671	0,0091	4,1429	0,0121	5,3302	0,0151	6,4290
0,0032	1,5497	0,0062	2,9110	0,0092	4,1839	0,0122	5,3682	0,0152	6,4641
0,0033	1,5965	0,0063	2,9549	0,0093	4,2248	0,0123	5,4062	0,0153	6,4991
0,0034	1,6432	0,0064	2,9986	0,0094	4,2656	0,0124	5,4440	0,0154	6,5340
0,0035	1,6898	0,0065	3,0423	0,0095	4,3063	0,0125	5,4818	0,0155	6,5688
0,0036	1,7363	0,0066	3,0858	0,0096	4,3469	0,0126	5,5194	0,0156	6,6035
0,0037	1,7827	0,0067	3,1293	0,0097	4,3874	0,0127	5,5570	0,0157	6,6381
0,0038	1,8290	0,0068	3,1727	0,0098	4,4278	0,0128	5,5945	0,0158	6,6726
0,0039	1,8752	0,0069	3,2159	0,0099	4,4681	0,0129	5,6318	0,0159	6,7070
0,0040	1,9213	0,0070	3,2591	0,0100	4,5083	0,0130	5,6691	0,0160	6,7413
0,0041	1,9674	0,0071	3,3022	0,0101	4,5485	0,0131	5,7063	0,0161	6,7756
0,0042	2,0133	0,0072	3,3451	0,0102	4,5885	0,0132	5,7433	0,0162	6,8097
0,0043	2,0591	0,0073	3,3880	0,0103	4,6284	0,0133	5,7803	0,0163	6,8437
0,0044	2,1048	0,0074	3,4308	0,0104	4,6682	0,0134	5,8172	0,0164	6,8776
0,0045	2,1504	0,0075	3,4734	0,0105	4,7079	0,0135	5,8539	0,0165	6,9114
0,0046	2,1960	0,0076	3,5160	0,0106	4,7476	0,0136	5,8906	0,0166	6,9452
0,0u47	2,2414	0,0077	3,5585	0,0107	4,7871	0,0137	5,9272	0,0167	6,9788
0,0048	2,2867	0,0078	3,6009	0,0108	4,8265	0,0138	5,9637	0,0168	7,0123
0,0049	2,3320	0,0079	3,6432	0,0109	4,8659	0,0139	6,0001	0,0169	7,0458
0,0050	2,3771	0,0080	3,6853	0,0110	4,9051	0,0140	6,0363	0,0170	7,0791
0,0051	2,4221	0,0081	3,7274	0,0111	4,9442	0,0141	6,0725	0,0171	7,1123
0,0052	2,4671	0,0082	3,7694	0,0112	4,9833	0,0142	6,1086	0,0172	7,1455
0,0053	2,5119	0,0083	3,8113	0,0113	5,0222	0,0143	6,1446	0,0173	7,1785
0,0054	2,5566	0,0084	3,8531	0,0114	5,0610	0,0144	6,1805	0,0174	7,2114
.0,0055	2,6013	0,0085	3,8948	0,0115	5,0998	0,0145	6,2163	0,0175	7,2443
0,0056	2,6458	0,0086	3,9364	0,0116	5,1384	0,0146	6,2520	0,0176	7,2770
0,0057	2,6903	0,0087	3,9779	0,0117	5,1770	0,0147	6,2876	0,0177	7,3097

TABEL A-36
RASIO PENULANGAN (*ρ*) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 35 Mpa, *fy*=500 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0028	1,3670	0,0062	2,9380	0.0096	4,4116	0.0130	5.7878	0.0164	7,0665
0,0029	1,4146	0,0063	2,9827	0,0097	4,4535	0.0131	5.8268	0,0165	7,1027
0,0030	1,4621	0,0064	3,0274	0,0098	4,4953	0,0132	5.8657	0,0166	7,1387
0,0031	1,5095	0,0065	3,0719	0.0099	4,5370	0.0133	5,9045	0.0167	7,1747
0,0032	1,5568	0,0066	3,1.164	0,0100	4,5786	0.0134	5,9433	0.0168	7,2106
0,0033	1,6041	0,0067	3,1608	0,0101	4,6201	0,0135	5,9819	0.0169	7,2464
0,0034	1,6513	0,0068	3,2051	0,0102	4,6615	0,0136	6,0205	0,0170	7,2821
0,0035	1,6984	0,0069	3,2494	0.0103	4,7029	0,0137	6,0590	0.0171	7,3177
0,0036	1,7454	0,0070	3,2935	0,0104	4,7442	0,0138	6,0974	0,0172	7,3532
0,0037	1,7923	0,0071	3,3376	0.0105	4,7854	0,0139	6,1358	0,0173	7,3887
0,0038	1,8391	0.0072	3.3815	0,0106	4,8265	0,0140	6,1740	0,0174	7,4241
0,0039	1,8859	0,0073	3,4254	0,0107	4,8675	0,0141	6.2122	0.0175	7,4594
0,0040	1,9326	0.0074	3,4692	0,0108	4,9084	0,0142	6,2502	0,0176	7,4946
0,0041	1,9792	0,0075	3.5129	0,0109	4,9493	0,0143	6,2882	0,0177	7,5297
0,0042	2,0257	0,0076	3,5566	0.0110	4,9901	0,0144	6,3261	0,0178	7,5647
0,0043	2,0721	0,0077	3.6001	0.0111	5,0308	0,0145	6.3639	0,0179	7,5997
0,0044	2,1184	0,0078	3,6436	0,0112	5,0714	0,0146	6,4017	0,0180	7,6346
0,0045	2.1647	0,0079	3,6870	0.0113	5,1119	0,0147	6.4393	0.0181	7,6694
0,0046	2,2108	0,0080	3,7303	0.0114	5.1523	0,0148	6.4769	0,0182	7,7041
0,0047	2,2569	0,0061	3,7735	0,0115	5.1927	0,0149	6,5144	0,0183	7,7387
0,0048	2,3029	0,0082	3,8166	0.0116	5,2329	0,0150	6,5516	0,0184	7,7732
0,0049	2,3488	0,0083	3,8597	0.0117	5,2731	0,0151	6,5891	0,0185	7,8077
0,0050	2,3946	0,0084	3,9026	0.0118	5,3132	0,0152	6,6263	0,0186	7,8420
0,0051	2,4404	0,0085	3,9455	0.0119	5,3532	0,0153	6,6635	0,0187	7,8763
0,0052	2,4860	0.0086	3,9883	0.0120	5,3931	0,0154	6,7005	0,0188	7,9105
0,0053	2,5316	0.0087	4,0310	0,0121	5,4330	0,0155	6,7375	0,0189	7,9446
0,0054	2,5771	0,0088	4,0736	0,0122	5,4727	0,0156	6,7744	0,0190	7,9786
0,0055	2,6225	0,0089	4,1162	0.0123	5,5124	0,0157	6,8112	0,0191	8,0126
0,0056	2,6678	0,0090	4,1586	0.0124	5,5520	0,0158	6,8479	0,0192	8,0464
0,0057	2,7131	0,0091	4,2010	0,0125	5,5915	0,0159	6,8846	0,0193	8,0802
0,0058	2,7582	0,0092	4,2433	0,0126	5,6309	0,0160	6,9211	0,0194	8,1139
0,0059	2,8033	0,0093	4,2855	0.0127	5,6703	0,0161	6,9576	0,0195	8,1475
0,0060	2,8483	0,0094	4,3276	0,0128	5,7095	0,0162	6,9940	0,0196	8,1810
0,0061	2,8932	0,0095	4,3697	0,0129	5,7487	0,0163	7,0303	0,0197	8,2145

TABEL A-37
RASIO PENULANGAN (ρ) va KOEFISIEN TAHANAN (*k*)
(*fc'* = 17 Mpa, *fy*=240 Mpa, *k* dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0028	1,3711	0.0066	3.1394	0.0104	3.1394	0.0142	6,3565	0.0180	7,8053
0,0029	1,4190	0.0067	3.1845	0.0105	3.1845	0.0143	6,3959	0.0181	7,8419
0,0030	1,4668	0.0068	3.2295	0.0106	3.2295	0.0144	6,4354	0.0182	7,8786
0,0031	1,5146	0.0069	3.2744	0.0107	3.2744	0.0145	6,4747	0.0183	7,9151
0,0032	1,5622	0.0070	3.3193	0.0108	3.3193	0.0146	6,5140	0.0184	7,9516
0,0033	1,6098	0.0071	3.3641	0.0109	3.3641	0.0147	6,5532	0.0185	7,9880
0,0034	1,6574	0.0072	3.4088	0.0110	3.4088	0.0148	6,5923	0.0186	8,0243
0,0035	1,7048	0.0073	3.4535	0.0111	3.4535	0.0149	6,6313	0.0187	8,0605
0,0036	1,7522	0.0074	3.4981	0.0112	3.4981	0.0150	6,6703	0.0188	8,0967
0,0037	1,7995	0.0075	3.5426	0.0113	3.5426	0.0151	6,7092	0.0189	8,1328
0,0038	1,8468	0.0076	3.5870	0.0114	3.5870	0.0152	6,7480	0.0190	8,1688
0,0039	1,8939	0.0077	3.6314	0.0115	3.6314	0.0153	6,7868	0.0191	8,2048
0,0040	1,9410	0.0078	3.6757	0.0116	3.6757	0.0154	6,8255	0.0192	8,2406
0,0041	1,9880	0.0079	3.7199	0.0117	3.7199	0.0155	6,8641	0.0193	8,2764
0,0042	2,0350	0.0080	3.7640	0.0118	3.7640	0.0156	6,9026	0.0194	8,3122
0,0043	2,0818	0.0081	3.8081	0.0119	3.8081	0.0157	6,9411	0.0195	8,3478
0,0044	2,1286	0.0082	3.8521	0.0120	3.8521	0.0158	6,9795	0.0196	8,3834
0,0045	2,1753	0.0083	3.8960	0.0121	3.8960	0.0159	7,0178	0.0197	8,4189
0,0046	2,2220	0.0084	3.9398	0.0122	3.9398	0.0160	7,0560	0.0198	8,4544
0,0047	2,2685	0.0085	3.9836	0.0123	3.9836	0.0161	7,0942	0.0199	8,4897
0,0048	2,3150	0.0086	4.0273	0.0124	4.0273	0.0162	7,1323	0.0200	8,5250
0,0049	2.3615	0.0087	4.0709	0.0125	4.0709	0.0163	7,1703	0.0201	8,5602
0,0050	2.4078	0.0088	4.1144	0.0126	4.1144	0.0164	7,2082	0.0202	8,5954
0,0051	2.4541	0.0089	4.1579	0.0127	4.1579	0.0165	7,2461	0.0203	8,6304
0,0052	2.5003	0.0090	4.2013	0.0128	4.2013	0.0166	7,2839	0.0204	8,6654
0,0053	2.5464	0.0091	4.2446	0.0129	4.2446	0.0167	7,3216	0.0205	8,7003
0,0054	2.5925	0.0092	4.2879	0.0130	4.2879	0.0168	7,3592	0.0206	8,7352
0,0055	2.6385	0.0093	4.3311	0.0131	4.3311	0.0169	7,3968	0.0207	8,7699
0,0056	2.6844	0.0094	4.3742	0.0132	4.3742	0.0170	7,4343	0.0208	8,8046
0,0057	2.7302	0.0095	4.4172	0.0133	4.4172	0.0171	7,4717	0.0209	8,8393
0,0058	2.7760	0.0096	4.4602	0.0134	4.4602	0.0172	7,5091	0.0210	8,8738
0,0059	2.8216	0.0097	4.5030	0.0135	4.5030	0.0173	7,5464	0.0211	8,9083
0,0060	2.8673	0.0098	4.5459	0.0136	4.5459	0.0174	7,5836	0.0212	8,9427
0,0061	2.9128	0.0099	4.5886	0.0137	5.5886	0.0175	7,6207	0.0213	8,9770
0,0062	2.9583	0.0100	4.6313	0.0138	4.6313	0.0176	7,6578	0.0214	9,0113
0,0063	3.0036	0.0101	4.6738	0.0139	4.6738	0.0177	7,6947		
0,0064	3.0490	0.0102	4.7164	0.0140	4.7164	0.0178	7,7317		
0,0065	3.0942	0.0103	4.7588	0.0141	4.7588	0.0179	7,7685		

TABEL A-38 LEBAR BALOK MINIMUM										
Tulangan Baja	***Jumlah Batang Tulangan Baja Dalam Satu Lapis***									**Tambahan setiap batang**
	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	
D 10	14,50	18,00	21,50	25,00	28,50	32,00	35,50	39,00	42,50	3,50
D 12	14,90	18,60	22,30	26,00	29,70	33,40	37,10	40,80	44,50	3,70
D 13	15,10	18,90	22,70	26,50	30,30	34,10	37,90	41,70	45,50	3,80
D 14	15,30	19,20	23,10	27,00	30,90	34,80	38,70	42,60	46,50	3,90
D 16	15,70	19,80	23,90	28,00	32,10	36,20	40,30	44,40	48,50	4,10
D 18	16,10	20,40	24,70	29,00	33,30	37,60	41,90	46,20	50,50	4,30
D 19	16,30	20,70	25,10	29,50	33,90	38,30	42,70	47,10	51,50	4,40
D 20	16,50	21,00	25,50	30,00	34,50	39,00	43,50	48,00	52,50	4,50
D 22	16,90	21,60	26,30	31,00	35,70	40,40	45,10	49,80	54,50	4,70
D 25	17,50	22,50	27,50	32,50	37,50	42,50	47,50	52,50	57,50	5,00
D 28	18,40	24,00	29,60	35,20	40,80	46,40	52,00	57,60	63,20	5,60
D 29	18,70	24,50	30,30	36,10	41,90	47,70	53,50	59,30	65,10	5,80
D 32	19,60	26,00	32,40	38,80	45,20	51,60	58,00	64,40	70,80	6,40
D 36	20,80	28,00	35,20	42,40	49,60	56,80	64,00	71,20	78,40	7,20
D 40	22,00	30,00	38,00	46,00	54,00	62,00	70,00	78,00	86,00	8,00
D 50	25,00	35,00	45,00	55,00	65,00	75,00	85,00	95,00	105,0	10,00

Keterangan:

Tabel dihitung menggunakan sengkang D10, jarak bersih minimum 2,50 cm, dan tebal selimut beton 4,0 cm. Tabel ini diambil dari buku ―Struktur Beton Bertulang” Oleh Istimawan Dipohusodo.

c. Rangkuman

1) Secara garis besar ada tiga jenis kolom beton bertulang yaitu :
   a) Kolom menggunakan pengikat sengkang lateral. Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan pokok memanjang, yang pada jarak spasi tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral, sedemikian rupa sehingga penulangan keseluruhan membentuk kerangka.
   b) Kolom menggunakan pengikat spiral. Bentuknya sama dengan yang pertama hanya saja sebagai pengikat tulangan pokok memanjang adalah tulangan spiral yang dililit keliling membentuk heliks menerus di sepanjang kolom
   c) Struktur kolom komposit merupakan komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa, dengan atau tanpa diberi batang tulangan pokok memanjang.

2) Kondisi pembebanan tanpa eksentrisitas yang merupakari keadaan berikut:

   Po = 0,85 fc' (Ag – Ast) + fy Ast

   apabila diuraikan lebih lanjut akan didapatkan:

   Po = Ag { 0,85 fc' (1 - ρg) + fy ρ_g}

   Po = Ag { 0,85 fc' + ρ_g (fy – 0,85 fc')}

   Sedangkan peraturan memberikan ketentuan hubungan dasar antara beban dengan kekuatan sebagai berikut:

   $$Pu \le \phi\, Pn_g$$

   dimana,

   Ag = luas kotor penampang lintang kolom (mm2)

   Ast = luas total penampang penulangan memanjang (mm2)

   Po = kuat beban aksial nominal atau teoretis tanpa eksentrisitas

   Pn = kuat beban aksial nominal atau teoretis dengan eksentrisitas tertentu.

   Pu = beban aksial terfaktor dengan eksentrisitas

   $$\rho_g = \frac{Ast}{Ag}$$

3) Rasio penulangan spiral ρ_s tidak boleh kurang dari persamaan berikut ini:

$$\rho_{s\,minimum} = 0{,}45\left(\frac{Ag}{Ac} - 1\right)\frac{fc'}{fy}$$ (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.9.3)

dimana :

$$\rho_s = \frac{Volume\ tulangan\ spiral\ satu\ putaran}{Volume\ \text{int}\,i\ kolom\ setinggi\ s}$$

s = jarak spasi tulangan spiral p.k.p. (pitch)

Ag = luas penampang lintang kotor dan kolom

Ac = luas penampang lintang inti kolom (tepi luar ke tepi luar spiral)

fy = tegangan leleh tulangan baja spiral, tidak lebih dan 400 Mpa.

d. Tugas

1) Jelaskan pengertian kolom sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 dan berfungsi sebagai apa dalam struktur bangunan
2) Tentukan kekuatan beban aksia! Maksimum yang tersedia pada kolom persegi dengan pengikat sengkang, dimensi 400x400 mm2, tulangan pokok 8D29, sengkang D10, selimut beton 40 mm (bersih), berupa kolom pendek, fc' = 25 MPa, mutu baja fy = 400 MPa baik untuk tulangan memanjang maupun sengkang. Periksalah juga kekuatan sengkangnya.
3) Jelaskan apa yang dimaksud dengan eksentrisitas dan tuliskan persamaannya

e. Tes Formatif

1) Rencanakan kolom berbentuk bujur sangkar dengan pengikat sengkang untuk menopang beban kerja aksial, yang terdiri dari beban mati 1400 kN dan beban hidup 850 kN, kolom pendek, fc' = 30 Mpa, fy = 400 Mpa, gunakan ρ_g = 0,03.

f. Kunci Jawaban Tes Formatif

1) Penyelesaian

Kuat bahan dan perkiraan ρ_g telah ditentukan.

Beban rencana terfaktor adalah: P,= 1,6 (850) + 1,2 (1400) = 3040 kN Luas kotor penampang kolom yang diperlukan adalah:

$$Ag_{\ (perlu)} = \frac{Pu}{0{,}80\,\phi\,\left\{0{,}85\,fc'\left(1-\rho_g\right)+fy\,\rho_g\right\}}$$

$$= \frac{3040\,(10)^3}{0{,}80\,(0{,}65)\ \{0{,}85\,(30)\,(1-0{,}03)+400\,(300)\}} = 159144\,mm2$$

Ukuran kolom bujur sangkar yang diperlukan menjadi: $\sqrt{\ }$ (159144) = 399 mm . Tetapkan ukuran 400 mm, yang dengan demikian mengakibatkan nilai ρ_g akan kurang Sedikit dari yang ditentukan ρ_g = 0.03.

Ag aktual = $(400)^2$ = 160000 mm2

Nilai perkiraan beban yang dapat disangga oleh daerah beton (karena ρ_g berubah):

Beban pada daerah beton = 0,80(0,85fc')Ag(1- ρ_g)

= 0,80(0, 65)(0,85)(30)(1 60000)(1 - 0,03) $(I0)^{-3}$ = 2058 kN

Dengan demikian, Beban yang harus didukung oleh batang tulangan baja adalah:

3040 – 2058 =982 kN

Kekuatan maksimum yang disediakan oleh batang tulangan baja adalah 0,80 ϕAst fy, maka luas penampang batang tulangan baja yang diperlukan dapat dihitung sebagai berikut:

$$Ast_{\ (perlu)} = \frac{982\,(10)^3}{0{,}80\,(0{,}65)\,(400)} = 4721\,mm2$$

Gambar 28. Sketsa Perencanaan

Digunakan satu macam ukuran batang tulangan baja dan dipasang merata di sepanjang kelihing sengkang, untuk itu dipilih batang tulangan sedemikian rupa sehingga jumlahnya merupakan kelipatan empat. Gunakan 8 batang tulangan baja D29 (Ast = 5284 mm2). Dan Tabel A-40 didapatkan ketentuan bahwa penggunaan 8 batang tulangan baja D29 memberikan lebar diameter inti maksimum 320 mm, dengan demikian penulangan yang direncanakan tersebut memenuhi syarat.

Merencanakan tulangan sengkang:

DariTabel A-40, pilih batang tulangan baja D10 untuk sengkang. Jarak spasi tidak boleh lebih besar dari:

48 kali diameter batang tulangan sengkang = 48(10) = 480 mm

16 kali diameter batang tulangan memanjang = 16(29) = 464 mm

Ukuran kolom arah terkecil (lebar) = 400 mm

Gunakan batang tulangan baja D10 untuk sengkang, dengan jarak spasi p.k.p. 400 mm.

Periksa susunan tulangan pokok dan sengkang dengan mengacu pada Gambar 9.7

Jarak bersih batang tulangan pokok bersebelahan pada sisi kolom adalah:

½ {400 – 80 – 20 - 3(29)}= 106,5 mm <150 mm

Dengan demikian tidak perlu tambahan batang pengikat tulangan pokok kolom sebagaimana yang ditentukan dalam SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.16.10 ayat 5.3.

4. Kegiatan Belajar 4. Perancah dan Bekisting

a. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari unit ini peserta didik/siswa diharapkan dapat:

2) Menjelaskan pengertian, fungsi, dan bahan-bahan perancah untuk konstruksi beton bertulang.
3) Menjelaskan konstruksi perancah besi sistem rangka (*modular system*)
4) Menjelaskan onstruksi perancah besi sistem kerangka satu lapis (*putlog scaffold*)
5) Menjelaskan konstruksi perancah besi sistem kerangka bebas (*independent scaffold*) dan perancah besi sistem menara (*tower scaffold*)
6) Mengidentifikasi peralatan untuk memasang perancah besi dan Memilih peralatan untuk memasang dan membongkar perancah besi
7) Menjelaskan dasar-dasar pemasangan perancah besi dan Menjelaskan cara memasang perancah besi
8) Memasang perancah besi dan menjelaskan cara membongkar perancah besi

b. Uraian Materi

Perkembangan Perancah

Ketika manusia purba meninggalkan gua sebagai huniannya dan berkeinginan untuk mendirikan bangunan diatas tanah, mereka menemukan beberapa bentuk bangunan sementara untuk area kerja pada ketinggian tertentu dan menopang suatu pekerjaan permanen selama dalam tahap / pembangunan. Hal ini dapat dilihat dalam perkembangan perancah di China dan daerah Mediteranian dimana 4000 tahun yang lalu telah mempunyai keinginan untuk mendirikan bangunan.

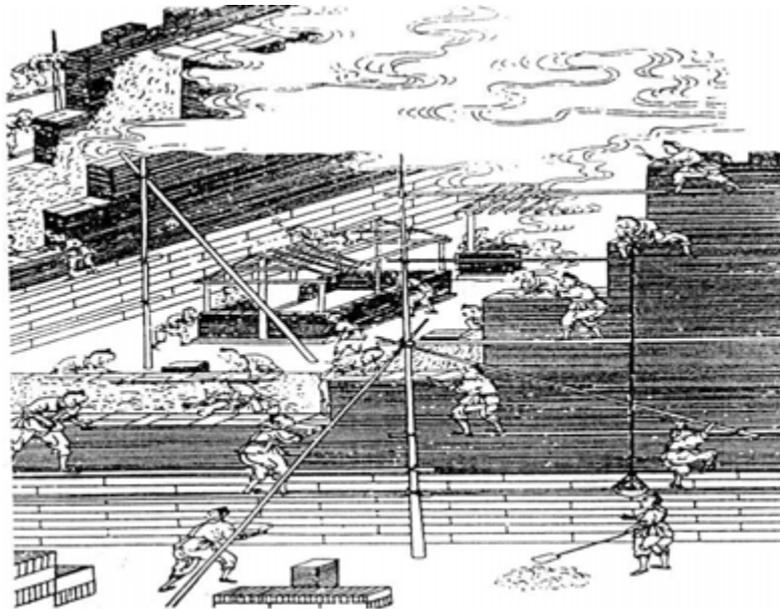
Bangunan di negeri China yang pertama kali dibuat dari beberapa bagian yang dikerjakan oleh para pekerja secara perorangan. Bangunan-bangunan besar dan dinding batas kota dibuat dari bata yang dibakar dan memerlukan perancah yang sederhana supaya para pekerja dapat melakukan pekerjaan pada ketinggian yang dikehendaki.

Satu hal yang sangat menarik bahwa China secara umum tidak menggunakan batu sebagai bahan bangunan dan tidak mengerjakan komponen-komponen bangunan yang besar. Komponen dalam bangunan pada umumnya adalah

tiang kayu dan balok atap, berbeda dengan penduduk di daerah Mediteranian pada waktu itu yang membangun lebih maju.

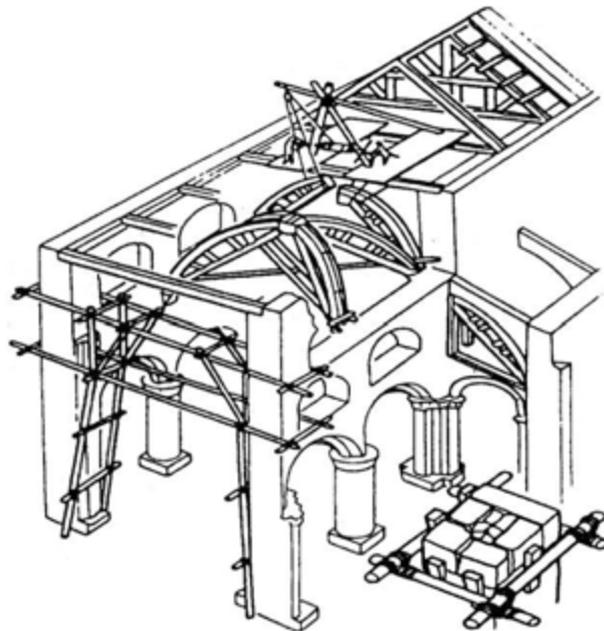
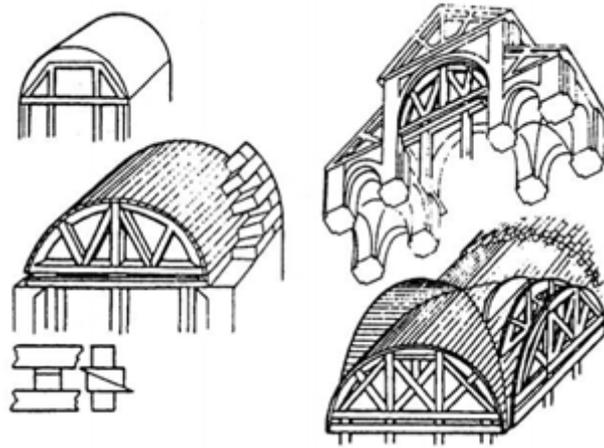
Komponen-komponen bangunan yang lebih megah dari kontraktor modern menjadi yang utama, seperti balok lintel dan kolom dari batu yang ditambang, diangkut dan didirikan pada posisinya membentuk pura, istana dan piramid. Sejalan dengan penggunaan tenaga kerja, alat pengangkat dan pengangkutpun mulai dikembangkan seperti *sled, roller, lever, wheel, windlass, pulley* dan *mast*.

Bangunan perancah sebagai penopang konstruksi, diperlukan untuk menahan konstruksi tersebut menjadi stabil. Disamping itu juga untuk mendukung alat pengangkut dan tempat yang sifatnya sementara untuk komponen-komponen lainnya sebelum dipindahkan pada posisinya yang pasti.

Di negeri China perkembangan metoda dalam konstruksi tampak hampir statis / tidak ada perubahan sampai ketika ide Barat mulai mempengaruhi dan dipakai. Tetapi di bidang perancah masih tetap dipakai cara-cara tradisional, pengembangan perancah modern dari bahan bambu dianggap cukup tepat di daerah Timur jauh.

Gambar 34. Perkembangan awal perancah di China

Batang-batang bambu ukuran diameter 7,5 cm dibentuk kotak-kotak satu lapis seperti kisi-kisi, diikat jadi satu dengan tali rotan atau tali bambu. Batang-

batang bambu ukuran diameter 20 cm digunakan untuk struktur bagian bawah perancah. Meskipun dijamin fleksibel terhadap tiupan angin kencang, perancah jenis ini tidak dapat diterima oleh standar negara Barat dengan pertimbangan keamanan dan prinsip-prinsip engineering.

Jatuhnya Kerajaan Romawi mengakibatkan hilangnya beberapa teknik konstruksi yang telah dibangun bangsa Yunani, Mesir, dan Persia sejak ribuan tahun yang lalu seperti konstruksi lengkung yang dapat menahan 600 ton, balok lintel pada kuil / candi Baalbek. Masih untung bentuk-bentuk lengkung Romawi dan Gothic masih tetap bisa bertahan. Oleh karenanya penggunaan perancah bentuk baru diperlukan untuk menahan konstruksi lengkung tersebut. Apalagi penggunaan atap setengah lingkaran pada bangunan gaya Bizantium dan Romawi memerlukan perancah yang hampir sama.

Gambar 35. Perancah penopang sementara konstruksi lengkung Ghotic

Gambar 36. Perancah penopang sementara konstruksi atap lengkung

Struktur perancah dibuat dengan cara mengikat tiang-tiang dari kayu lunak dan dikencangkan dengan pasak dan palang-palang yang digunakan untuk lantai kerja. Pendekatan dasar ini berlanjut sampai perkembangan industri dimana pengergajian kayu ada dimana-mana dan perancah dimodifikasi dengan menggunakan kayu-kayu berpenampang segi empat dengan tiang-tiang berpenampang bundar. Disamping diikat dengan tali juga dilakukan dengan cara dipaku, diikat dengan kawat, diikat dengan rotan dan lain-lain.

Pada tahun 1915 di Amerika Serikat, perancah pada umumnya dibuat dari kayu gergajian dengan penampang segi empat dengan penguat paku dan tiang berpenampang bundar.

Sekitar tahun 1920 di Inggris mulai dibuat perancah dari pipa bulat dengan diameter 4 cm dan panjang 6 m yang dihubungkan dengan klem pengikat (*coupler*). Secara ekonomis maupun praktis perancah jenis ini lebih menguntungkan, disamping itu kemudahan dalam perhitungan strukturnya menjamin keberhasilan perancah pipa ini. Beberapa modifikasi dilakukan termasuk jenis dan rancangan bentuk klem pengikat (*coupler*) supaya lebih ekonomis, maka ukuran pipa juga diperkecil.

Amerika Serikat mengembangkan perancah dari rangka-rangka pipa besi bulat yang dilas, sehingga mengurangi penggunaan klem pengikat. Rangka-rangka segi empat atau segi tiga dirangkai dan dihubungkan dengan penyiku sehingga membentuk perancah yang kokoh. Keuntungan perancah jenis ini adalah pemasangannya lebih cepat dan analisis strukturnya lebih meyakinkan.

1) **Tugas 1. Tujuan dan faktor-faktor yang mempengaruhi pekerjaan perancah**

Pada dasarnya pembuatan perancah mempunyai tujuan sebagai berikut:

a) Melakukan aktivitas kerja pada pekerjaan konstruksi
b) Pendukung konstruksi sementara, seperti bekisting balok / lantai beton
c) Tempat menyimpan peralatan atau bahan-bahan yang akan dipasang, seperti bata, adukan dan sebagainya.

Rancangan suatu perancah pada satu saat mungkin merupakan gabungan dari ketiga tujuan tersebut, sehingga bentuk akhir perancah tersebut akan tergantung kepada faktor-faktor berikut :

a) Kemudahan dalam pemasangan

Sampai saat ini satu persyaratan utama untuk perancah adalah bisa dipasang dengan mudah dan kemungkinan penanganan macam-macam komponennya. Salah satu yang harus dipertimbangkan yakni menangani kesulitan komponen perancah karena pemasangannya tidak cukup oleh satu dua orang saja tanpa bantuan yang lainnya.

Kemudahan pemasangan menjadi kecenderungan utama, ukuran bentuk dan kekuatan perancah ditentukan oleh kecakapan tenaga kerja dalam pemasangan tanpa bantuan mesin. Namun dengan pengembangan cara dan alat-alat pengangkat semakin mempermudah pemasangan.

Penggunaan struktur perancah yang permanen dengan sistem modular unit yang dapat / dipindah dari satu tempat ke tempat lainnya akan mengurangi pekerjaan bongkar pasang yang berulang-ulang.

b) Pertimbangan Ekonomis

Pertimbangan ekonomis yang cukup menonjol adalah :

(1) Pembelian / pengadaan
(2) Pemeliharaan
(3) Masa pakai (keawetan)
(4) Kapasitas pemakaian ulang
(5) Pemasangan dan pembongkaran
(6) Karekteristik

Faktor-faktor tersebut di atas merupakan faktor-faktor ekonomis yang mempengaruhi perkembangan nilai suatu perancah.

c) Keselamatan Kerja

Pembuatan perancah harus betul-betul mempertimbangkan keselamatan. Tidak boleh dilakukan pembuatan perancah dianggap sebagai sarana sementara dan sekedar sebagai penyangga sesaat. Perlu diperhitungkan dengan teliti dan cermat fungsi perancah yang akan dipasang, karena kecelakaan mudah terjadi apabila menggampangkan atau meremehkan pembuatan perancah.

d) Stabilitas Struktur

Perancah harus mampu menahan beban / muatan yang bekerja dan berat perancah itu sendiri, karena itu bentuknya dan strukturnya harus berdasarkan perhitungan yang teliti dan aman.

Bahan dan Komponen Perancah

a) Bahan Perancah

Bahan perancah yang sering digunakan adalah : pipa besi, alumunium, kayu dan dapat juga dari bambu, sehubungan dengan bahan-bahan yang akan digunakan maka akan berpengaruh terhadap komponen perancah yang dipergunakan antara lain : klem pengikat dapat digunakan tali tambang, kawat, rantai, rotan dan sebagainya.

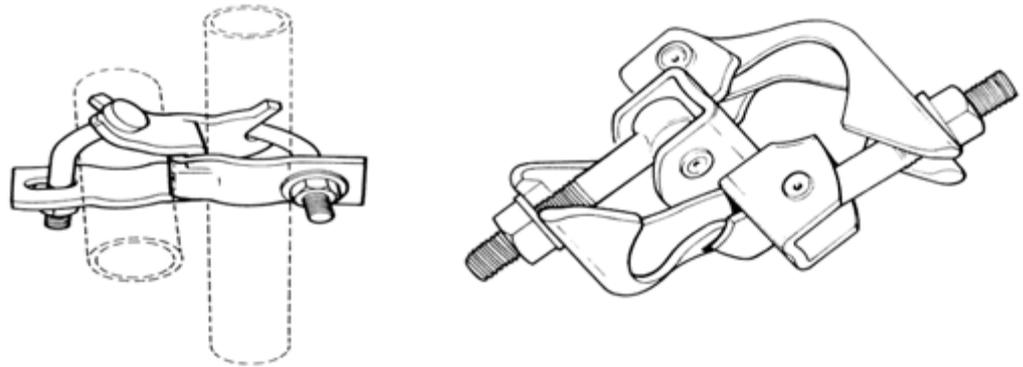
Pemilihan bahan yang akan dipergunakan sebagai perancah akan selalu dipertimbangkan tentang :

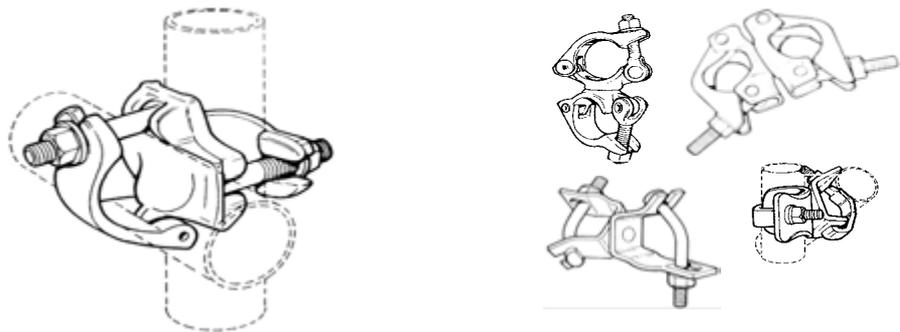
(1) Berat ringannya pekerjaan yang memerlukan perancah
(2) Stabilitas struktur perancah bersama beban yang akan didukungnya, maupun berat perancah itu sendiri
(3) Keselamatan kerja, sampai saat ini faktor keselamatan kerja pada pekerjaan perancah masih kurang diperhatikan padahal dinegara barat keselamatan kerja menjadi hal yang sangat penting.
(4) Tersedianya pembiayaan untuk menggunakan perancah
(5) Pada modul ini yang dibahas terbatas untuk perancah yang menggunakan bahan besi dengan komponen pengikatnya seperti yang akan diuraikan.

b) Komponen Perancah

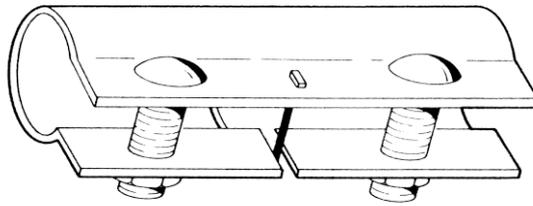
Komponen Utama, Untuk menghubungkan antara pipa perancah yang satu dengan yang lainnya digunakan komponen pengikat / penyambung (*coupler*). Komponen-komponen tersebut adalah :

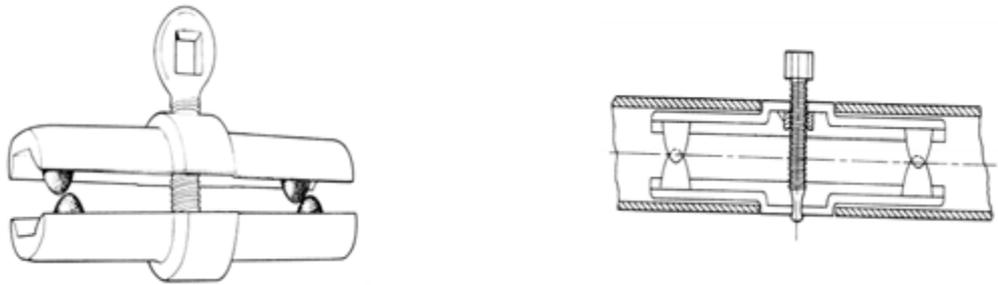
Klem pengikat siku, Klem pengikat siku digunakan untuk menghubungkan / mengikat tiang dengan batang horizontal memanjang (*ledger*). Klem pengikat siku bisa dalam bentuk :

(1) Klem pengikat siku tetap, digunakan sebagai pengikat pada pertemuan antara tiang dengan batang horizontal penahan papan bordes atau batang pengikat.

Gambar 37. Klem pengikat siku tetap

(2) Klem pengikat siku berputar, digunakan sebagai pengikat pada pertemuan antara tiang dengan batang penyiku perancah.

Gambar 38. Pengikat siku putar

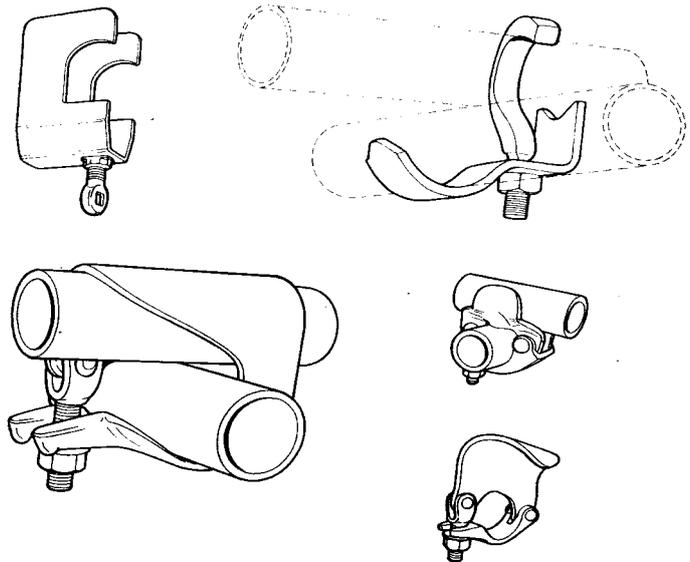
(3) Penyambung memanjang bentuk soket, digunakan untuk menyambung ujung pipa yang satu dengan lainnya yang dipasang pada bagian luar diameter pipa, baik untuk tiang maupun batang horizontal.

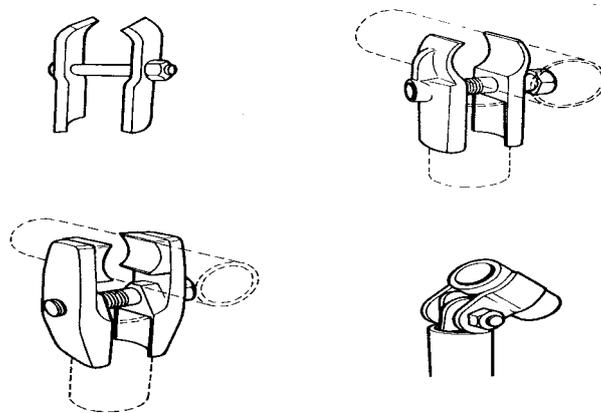
    Penyambung jenis ini lebih baik (kuat) jika dibandingkan dengan penyambung dengan pin.

Gambar 39. Penyambung bentuk soket

(4) Penyambung memanjang dengan pin, digunakan untuk menyambung pipa yang satu dengan lainnya yang dipasang pada bagian dalam diameter kedua ujung pipa, baik untuk tiang maupun batang horizontal.

Gambar 40. Penyambung memanjang dengan Pin

(5) Penyambung memanjang parallel digunakan untuk menyambung batang horizontal. Sambungan dengan sistem ini lebih baik (kuat) daripada penyambung dengan pin.

Gambar 41. Penyambung Parallel

(6) Klem pengikat pipa horizontal memanjang dan melintang (put log), dipasang sedemikian rupa sehingga pipa melintang dapat menerima beban akibat muatan orang dan bahan.

Gambar 42. Klem pengikat pipa horizontal memanjang dan melintang (put log)

(7) Penjepit ujung, digunakan untuk mengikat ujung pipa tiang perancah dengan pipa horizontal baik memanjang maupun melintang.

Gambar 43. Penjepit ujung

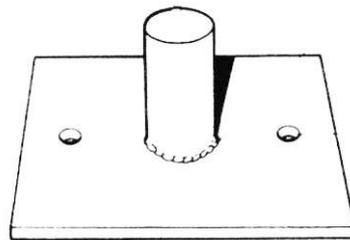
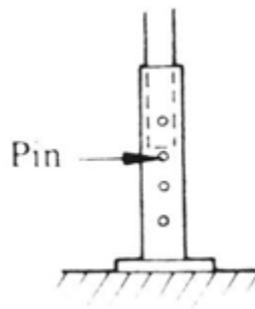
(8) Dudukan tiang perancah, merupakan komponen penting pada perancah karena melalui dudukan taing ini semua beban dari perancah (berat sendiri, pekerja dan bahan) akan disebarkan secara merata terhadap bidang lantai dasar.

Dudukan tiang biasanya dipasang dan dipakukan di atas bantalan balok-balok kayu atau bahan lainnya sehingga posisinya tidak mudah bergeser.

(9) Dudukan tiang bisa diperoleh dalam bentuk :

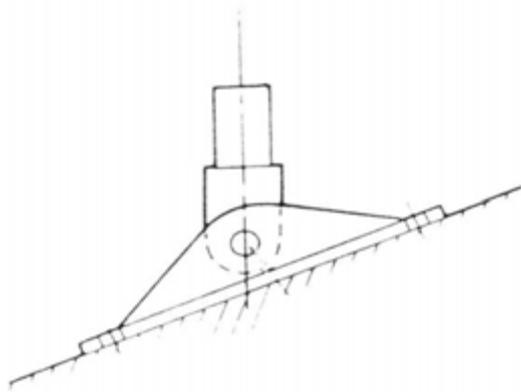
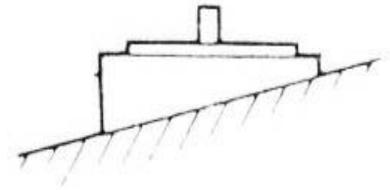
(a) Dudukan tiang tetap

Dudukan tiang tetap terdiri dari dua jenis, yakni dudukan biasa dan dudukan yang dilengkapi dengan lubang dan pin.

Dudukan terdiri dari besi pelat ukuran 15x15 cm dengan tebal 5 mm yang pada kedua sisinya diberi lubang untuk paku, dan pipa atau batang besi bulat dengan ukuran yang sama atau lebih kecil sedikit dari tiang perancah yang disatukan dengan cara di las.

Gambar 44. Dudukan tiang tetap biasa

Gambar 45. Dudukan tiang tetap dengan lubang dan pin

(10) Dudukan tiang tidak tetap

Dudukan tiang tidak tetap, digunakan jika bantalan dudukan tiang dalam kondisi terpaksa posisinya miring.

Jika tidak tersedia dudukan tiang tidak tetap, sedangkan bantalan bantalan posisinya miring, bisa digunakan dudukan tiang tetap dengan cara dipasang di atas baji / pasak.

Gambar 46. Dudukan tidak tetap

Gambar 47. Dudukan di atas baji / pasak

(11) Dudukan tiang dengan ulir

Dudukan tiang dengan ulir digunakan jika bagian atas perancah harus betul-betul dalam kondisi rata dan datar, khususnya dalam pekerjaan bekisting beton. Hal ini akan mempermudah pengaturan kerataan dan kedataran bidang permukaan bekisting beton, yakni dengan cara memutar mur turun-naik.

Dudukan tiang dengan ulir bisa diperoleh dalam dua bentuk seperti berikut:

- Dudukan tiang dengan ulir biasa.

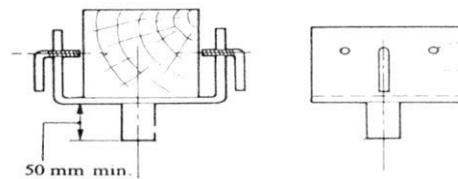
  Dudukan seperti ini ulirnya lebih pendek, yakni berkisar antara 0-250 mm.
- Dudukan tiang dengan ulir yang dilengkapi lubang dan pin.

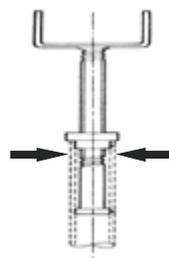
  Dudukan seperti ini ulirnya lebih panjang, yakni berkisar antara 400-1300 mm.

Gambar 48. Dudukan tiang dengan ulir yang dilengkapi dengan lubang dan pin

(a) Dudukan balok bekisting

Dudukan balok bekisting terdiri dari bagian tiang dan pelat dudukan balok yang diberi lubang paku atau baut penjepit, dan dipasang pada ujung akhir tiang perancah. Jenis dudukan ini terdiri dari dua macam yakni dudukan tetap dan dudukan dengan ulir.

Dudukan balok biasa akan lebih baik jika dipasang di atas tiang yang menggunakan dudukan dengan ulir, sehingga pengaturan naik-turun bisa dilakukan dengan cara menyetel dudukan tiang.

Gambar 49. Dudukan balok biasa

Dudukan balok dengan ulir bisa dipasang diatas tiang, baik yang dipasang di atas dudukan tetap ataupun di atas dudukan dengan ulir.

Gambar 50. Dudukan balok dengan ulir

Penyambung tiang digunakan untuk menghubungkan tiang dengan dudukannya (dudukan tetap).

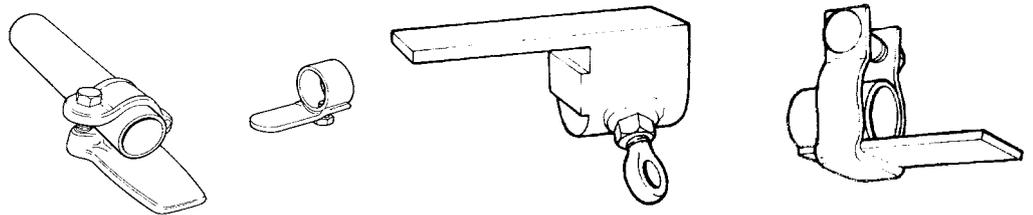
Penyambung ini biasanya dilengkapi dengan ulir untuk mengatur ketinggian tiang tersebut.

Gambar 51. Penyambung tiang

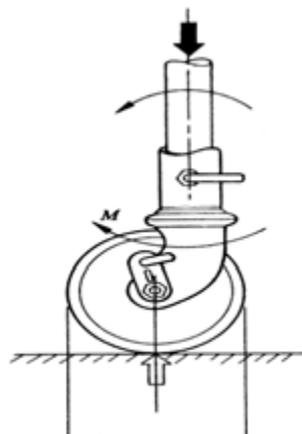
(b) Dudukan batang horizontal (*putlog end*)

Dudukan dipasang di atas pasangan bata atau conblock, untuk menahan batang horizontal pada perancah dengan kerangka tiang satu lapis (*putlog scaffold*).

Dudukan dibuat dari pelat besi dengan ukuran panjang minimum 7,5 cm, lebar 5 cm dan tebal 6 mm.Dudukan dipasang pada ujung pipa mendatar.

Berikut adalah jenis dudukan batang horizontal :

Gambar 52. Dudukan batang horizontal (*put log end*)

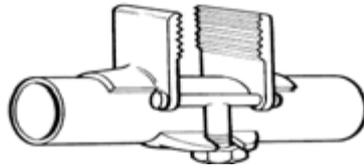
4. Roda (*castor*)

   Roda (*castor*) biasanya digunakan sebagai dudukan pada perancah menara yang dapat bergerak (*mobile tower scaffold*). Roda dilengkapi dengan baut pengunci supaya tidak bergerak pada saat sedang digunakan.

Gambar 53. Roda (*castor*)

(2) Komponen Penunjang

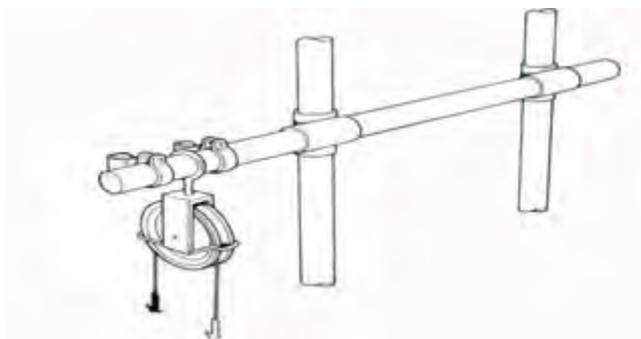
Komponen penunjang merupakan perlengkapan perancah yang digunakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Komponen penunjang meliputi :

(a) Penjepit

Penjepit digunakan untuk menjepit pipa atau balok kayu untuk rangka penutup atap pada perancah.

Gambar 54. Penjepit pipa / balok kayu

(b) Kerekan

Kerekan digunakan untuk mengangkat bahan-bahan yang dipasang ke atas perancah.

Kerekan dipasang pada ujung pipa yang dipasang mendatar pada tiang, kemudian supaya kerekan tidak bergerak dan membahayakan bagi pekerja maka dipasang penahan.

Gambar 55. Pemasangan kerekan

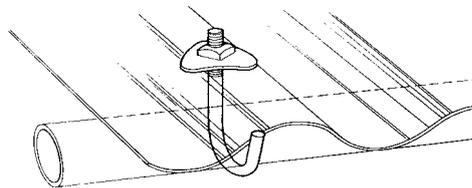
(c) Pengikat anak tangga

Pengikat anak digunakan jika diperlukan tangga kerja pada perancah, yakni dengan cara memasang pipa dalam posisi miring sebagai balok tangga.

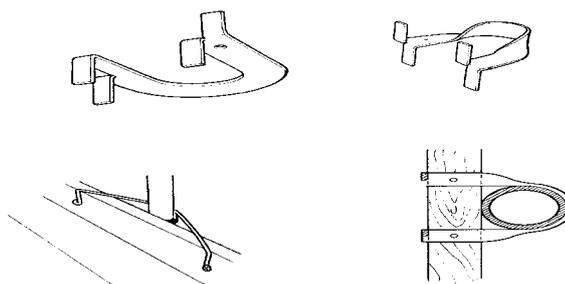
Pengikat anak tangga dipasang pada pipa tersebut, kemudian dipasang papan sebagai anak tangga di atasnya.

Gambar 56. Pengikat anak tangga

(d) Baut kait

Baut kait digunakan jika bagian atas perancah dipasang seng gelombang sebagai pelindung atau tujuan

Gambar 57. Baut kait

(e) Penjepit papan pengaman

Penjepit digunakan untuk mengikat papan pengaman pada tiang, sehingga posisinya benar-benar kuat. Papan pengaman dipasang di atas papan bordes kemudian penjepit dipasang pada tiang dan dipakukan pada papan pengaman.

Gambar 58. Penjepit papan pengaman

2) Tugas 2 Pemeliharaan Bahan dan komponen Perancah

a) Pemeliharaan Bahan Perancah

Yang dimaksud dengan bahan perancah disini adalah bahan utama yang akan dipasang menjadi suatu rangkaian konstruksi perancah yang saling mengikat dan mendukung sehingga kokoh dan kuat sebagai penyangga.

Bahan yang digunakan sebagai perancah dari besi biasanya berbentuk bulat dan lurus. Spesifikasi bulat dan lurus inilah yang menjadi jaminan bahwa bahan perancah dapat dipergunakan.

Sehubungan dengan itu maka harus diperhatikan jangan sampai terjadi perubahan bentuk maupun kelurusan dengan cara selalu memeriksa :

(1) Kelurusan

Apabila batang bahan perancah bengkok, supaya diperbaiki dan diluruskan terutama jika batang perancah ini dipergunakan atau dipasang tegak dan berfungsi sebagai penyangga.

(2) Bulat

Dapat terjadi karena suatu benturan atau akibat dipaksa diluruskan dari bengkok yang cukup parah maka pada suatu titik tertentu batang perancah ada yang cekung kedalam dan cukup dalam.

Apabila menemukan keadaan yang demikian lebih baik tidak dipergunakan lagi karena kekuatan untuk menyangga sudah sangat berkurang, diperhitungkan kemungkinan bengkok mudah terjadi terutama sewaktu pembebanan tambah berat. Dari keadaan inilah kecelakaan dapat terjadi.

b) Pemeliharaan Komponen Utama

Komponen utama sangat menentukan hasil pekerjaan pemasangan perancah, sehingga komponen ini harus dipelihara dan tetap dijaga agar selalu berfungsi dengan baik.

(1) Klem pengikat siku

Komponen-komponen perancah pada umumnya diikat oleh klem, khususnya klem pengikat siku yang terdiri dari :

- Klem pengikat siku tetap, dan
- Klem pengikat siku berputar

Unsur-unsur klem yang sering rusak pada umumnya adalah baut dan mur pengikatnya, maka baut dan mur yang akan digunakan harus selalu diperiksa apakah kondisinya masih baik atau sudah rusak atau ulirnya berat dan sebagainya. Tindakan pemeliharaan yang harus dilakukan adalah dengan cara membersihkan dan melabur baut dan mur tersebut dengan oli setiap setelah selesai

digunakan. Baut dan mur sudah rusak atau sudah aus harus segera diganti.

(2) Alat penyambung memanjang.

Alat penyambung ini cukup penting untuk menjaga jarak bentangan pemasangan perancah yang direncanakan dapat terpenuhi, baik untuk batang horizontal maupun vertikal.

Persoalan yang sering terjadi pada alat penyambung memanjang ini adalah bentuknya yang tidak bulat lagi akibat tertindas peralatan atau sebab-sebab lainnya. Untuk menghindarkan hal ini, maka alat penyambung harus ditempatkan pada tempat yang aman.

(3) Klem pengikat pipa horizontal dan melintang

Komponen ini memang dibuat agak rumit karena berubahnya bentuk akan mengakibatkan kesulitan dalam penggunaannya, sehingga harus dijaga kesempurnaan bentuknya.

Jika terjadi perubahan bentuk, maka harus diperbaiki dengan cara mengembalikan pada bentuk aslinya.

(4) Dudukan tiang perancah

Kerusakan yang sering terjadi pada dudukan tiang perancah adalah berubah bentuk. Pipa dudukan tidak bulat lagi atau ulirnya sudah aus dan kurang mengikat.

Hal ini terjadi karena sering digunakan pada konstruksi yang pembebanannya sangat berat sehingga bentuknya terpuntir atau retak. Apabila terjadi kerusakan semacam ini lebih baik tidak dipergunakan lagi dan diganti yang baru, karena membahayakan.

c) Pemeliharaan Komponen Penunjang

Biarpun disebut sebagai komponen penunjang peranan dan fungsinya tetap penting dan akan mendukung kelancaran pemasangan perancah.

Komponen penunjang yang perlu terpelihara dengan baik antara lain :

(1) Penjepit pipa / balok kayu

Komponen penjepit sudah dirancang sedemikian rupa sehingga berfungsi untuk menjepit pipa-pipa atau balok kayu sebagai tempat memasang penutup atau atap perancah.

Perkuatan penjepit dalam penggunaan adalah dengan cara mengencangkan baut dan murnya.

Penjepit harus dijaga jangan sampai ulirnya menjadi aus. Apabila ada kerusakan harus segera diganti. Tindakan pemeliharaan agar penjepit tetap baik dan mudah mengencangkan dan melepasnya, maka baut dan mur harus selalu dilaburi oli atau gemuk.

(2) Kerekan

Kerekan yang dipasang untuk mengangkat barang dan bahan harus sering diolesi gemuk terutama *bearing* tempat as kerekan.

As kerekan sering aus terutama pada posisi plat penahan yang mengakibatkan penarikan beban dengan kerekan menjadi berat. Apabila terjadi keausan atau bengkok, supaya as kerekan segera diluruskan dan apabila ausnya cukup dalam supaya diganti.

(3) Komponen Penunjang Lainnya

Komponen penunjang lainnya harus dipelihara dengan cara membersihkan dan menyimpannya kembali pada tempat yang aman dan disusun sesuai dengan jenisnya masing-masing. Komponen-komponen yang sudah rusak dan tidak dapat diperbaiki lagi supaya ditempatkan secara terpisah dan tidak digunakan lagi.

3) Tugas 3. Konstruksi Perancah

a) Fungsi

Perancah merupakan salah satu unsur yang cukup penting dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi yang memerlukan penyangga, mulai dari pengerjaan sampai dengan konstruksi tersebut mampu menahan beban sendiri. Sebagai contoh jelas yaitu apabila kita melaksanakan pekerjaan beton bertulang untuk lantai gedung bertingkat atau lantai jembatan yang akan dilewati lalu lintas yang dinamis. Selain itu perancah sangat berguna untuk sarana melakukan aktivitas kerja pekerjaan konstruksi yang tingginya melampaui batas-batas jangkauan ketinggian badan manusia.

Konstruksi perancah terdiri dari susunan batang-batang perancah yang diatur sedemikian rupa yang dihubungkan dengan pengikat, sehingga membentuk satu konstruksi yang kokoh dan kuat.

Konstruksi perancah merupakan bagian dari suatu konstruksi bangunan yang sejak dahulu kala sampai kini masih tetap digunakan karena

memiliki kelebihan dan fungsi startegis dalam proses pelaksanaan maupun daya dukung dalam kesatuan pengerjaan pekerjaan konstruksi.

Kelebihan tersebut adalah :

(1) Biayanya relatif lebih murah, terutama jika bahan dan komponen dapat dipergunakan secara berulang-ulang.

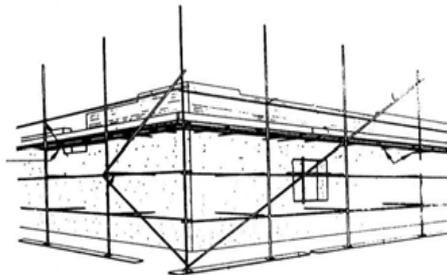
(2) Bahan perancah bisa diperoleh hampir di seluruh daerah di Indonesia.

(3) Pada konstruksi sederhana dapat dikerjakan oleh tenaga setengah terampil.

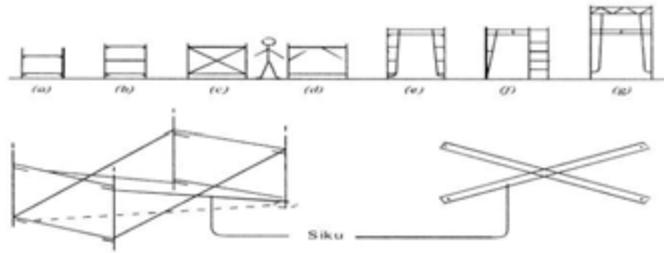
(4) Para kontraktor telah terbiasa dengan penggunaan perancah dari bermacam-macam bahan terutama dari besi.

b) Konstruksi perancah berdasarkan komponen-komponen yang digunakan

(1) Perancah dengan komponen lepas

Perancah jenis ini terdiri dari komponen-komponen tiang, batang horizontal / melintang, dudukan tiang, siku, batang pengikat dan penyangga balok yang kesemuanya dihubungkan menjadi satu rangkaian dengan menggunakan klem pengikat / penyambung, sehingga menjadi struktur perancah yang kuat dan kokoh (stabil). Kemudian dilengkapi dengan papan bordes, papan pengaman dan tangga.

Gambar 59. Perancah dengan sistem bahan / komponen lepas

(3) Perancah dengan sistem rangka

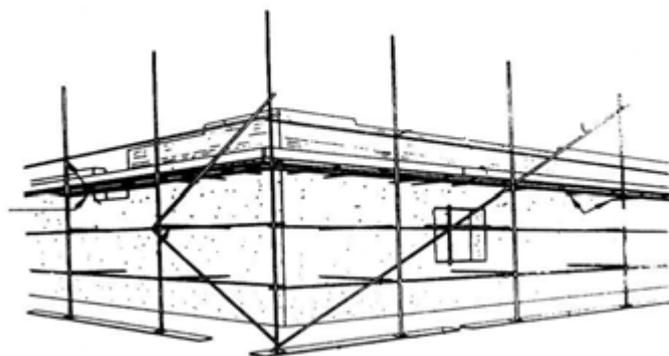
Perancah jenis ini terdiri dari rangka-rangka pipa besi yang dilas dalam bentuk dan ukuran yang sama. Rangka-rangka dirakit, disusun dan diperkuat dengan penyiku yang dipasang menyilang diikat dengan baut ataupun baji sehingga membentuk struktur perancah yang kuat dan kokoh (stabil).

Gambar 60. Perancah dengan sistem rangka

(3) Konstruksi perancah berdasarkan bentuk, ukuran dan kegunaan

Perancah dengan sistem kerangka satu lapis (*putlog scaffold*)

Perancah jenis ini terdiri dari komponen-komponen tiang, batang horizontal melintang dan memanjang yang dirakit menjadi satu kesatuan dan diperkuat dengan batang penyiku.

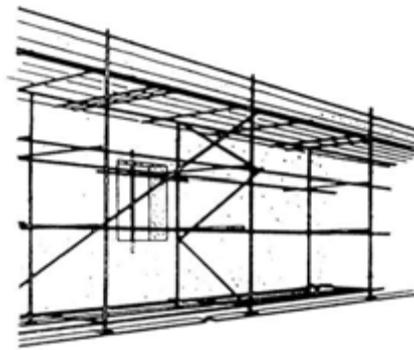
Batang ujung pipih dan batang horizontal melintang (*putlog*) ditempatkan di atas pasangan, sedangkan ujung lainnya di atas batang horizontal memanjang dan dikuatkan dengan pengikat.

Semua komponen rangka dihubungkan dengan klem pengikat/penyambung. Perancah jenis ini hanya dapat digunakan untuk melakukan aktivitas kerja dan menyimpan peralatan atau bahan-bahan yang akan dipasang dengan panjang sesuai dengan ukuran bangunan yang sedang dikerjakan.

Gambar 61. Perancah dengan sistem kerangka satu lapis (*putlog scaffold*)

(4) Perancah dengan sistem kerangka bebas (*independent scaffold*)

Struktur perancah bisa terdiri dari bahan/komponen lepas atau rangka-rangka yang disusun dan diperkuat dengan komponen-komponen pengikat.

Perancah jenis ini juga digunakan sebagai tempat melakukan aktivitas pekerjaan dan menempatkan peralatan atau bahan-bahan yang akan dipasang dengan panjang sesuai dengan ukuran bangunan yang sedang dikerjakan.

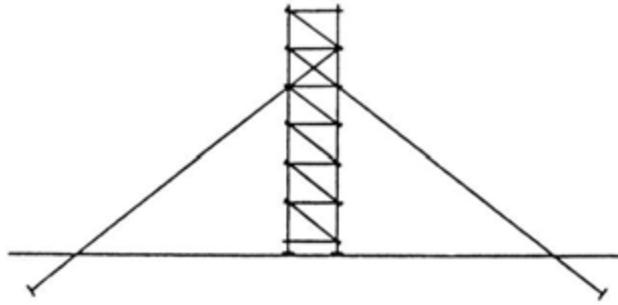
Struktur perancah lebih stabil dibandingkan dengan perancah sistem kerangka satu lapis.

Gambar 62. Perancah dengan sistem kerangka bebas (*independent scaffold*)

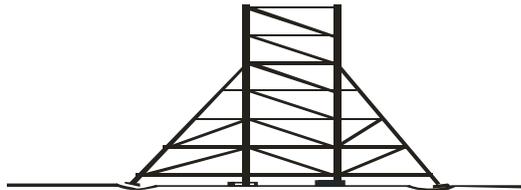
(5) Perancah sistem menara (*tower scaffold*)

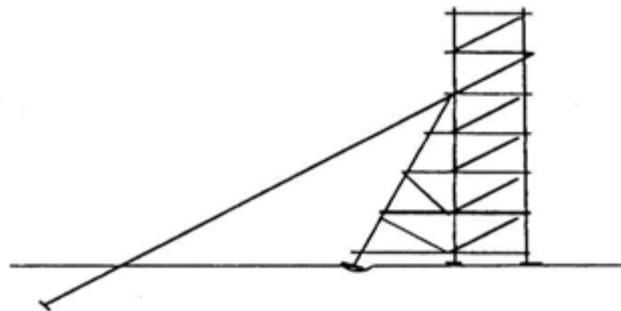
Perancah menara digunakan untuk melakukan pekerjaan-pekerjaan kecil pada ketinggian tertentu, seperti membersihkan kaca, perbaikan dinding keramik luar dan sebagainya atau sebagai tempat katrol untuk menaikkan dan menurunkan bahan-bahan dalam suatu pekerjaan pembangunan.

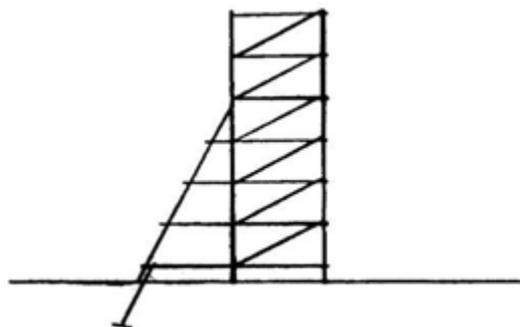
Berdasarkan konstruksi dudukannya perancah menara dapat berupa :

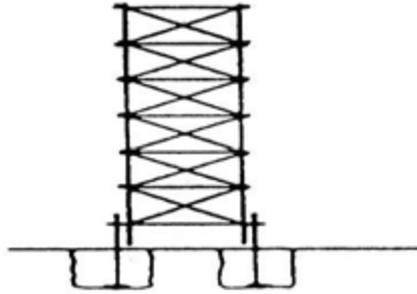
- Perancah yang dapat dipindah-pindah / bergerak
- Perancah tetap dengan bentuk-bentuk seperti berikut :

Perancah menara dengan penguat tali baja

Gambar 63. Perancah menara dengan penguat tali baja

Perancah menara dengan penguat rangka

Gambar 64. Perancah menara dengan penguat rangka

Perancah menara dengan penguat rangka dan tali baja

Gambar65. Perancah menara dengan penguat rangka dan tali baja

Perancah menara dengan penguat rangka dan angkur

Gambar 67. Perancah menara dengan penguat rangka dan angkur

Perancah menara dengan kaki gantung

Gambar 88. Perancah menara dengan kaki gantung

c) Pemasangan Perancah

Dalam pelaksanaan suatu pekerjaan konstruksi pemahaman terhadap peralatan merupakan satu hal yang sangat penting, karena keberhasilam penanganan pekerjaan tersebut akan tergantung sekali kepada sejauh mana pekerja memahami jenis, fungsi dan cara menggunakan peralatan.

Harus kita akui bahwa kemampuan tenaga kerja di negeri kita pada umumnya, khususnya tukang pasang perancah bukan diperoleh dari hasil pendidikan atau pelatihan secara formal tetapi diperoleh berdasarkan pengalaman kerja langsung di lapangan sehingga kemampuan mengenali peralatan perlu mendapatkan bimbingan secara khusus yang ditunjang oleh pengalaman yang cukup.

Kemampuan menggunakan peralatan bagi seorang tukang pasang perancah adalah sangat penting, sehingga dalam melaksanakan tugasnya bisa betul-betul mengetahui secara pasti apa yang seharusnya dilakukan serta dimana perancah tersebut harus dipasang, disamping itu tentunya diharapkan dengan meningkatnya kemampuan menggunakan peralatan juga akan meningkatkan produktivitas dan penghasilan hariannya.

Peralatan yang digunakan dalam pemasangan perancah terdiri dari :

1) Kunci pas, kunci ring dan kunci sock

   Kunci pas, kunci ring dan kunci sock digunakan untuk mengencangkan mur-baut klem pengikat / penyambung perancah

   Ukuran kunci yang sering digunakan pada pekerjaan ini biasanya antara 8-17 mm, sesuai ukuran mur-baut pada klem pengikat / penyambung atau mur-baut penyiku pada perancah sistem rangka. Ukruan kunci harus sesuai dengan ukuran mur-baut yang digunakan agar tidak terjadi kerusakan pada mur-baut tersebut.

Gambar 69. Kunci pas, kunci ring dan kunci sock

2) Pojer (Podger)

Pojer digunakan untuk mengencangkan atau melonggarkan pengikat tali baha pada perancah, yakni dengan memasukan ujung segi empat / bulat kedalam mata ulir pengencang tali baja dan memutarnya.

Ujung pojer berbentuk C juga dapat digunakan untuk mengencangkan / melepas mur-baut yang ukurannya cukup besar.

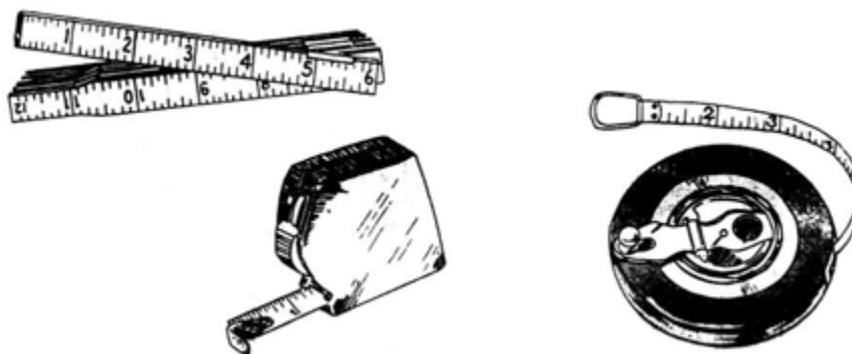
Gambar 70. Pojer (podger)

3) Meteran

Meteran dalam pekerjaan pemasangan perancah digunakan untuk mengukur lebar, panjang dan tinggi perancah.

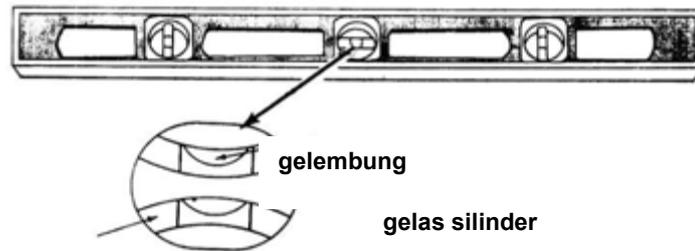
Dua jenis meteran yang sering digunakan adalah :

(a) Meteran lipat yang dibuat dari bahan kayu, plastik keras atau logam dengan panjang 1 meter.

(b) Meteran gulung (roll) dari pelat baja tipis dengan kotak dari bahan plastik atau logam yang panjangnya berkisar antara 2-5 meter. Meteran jenis ini lebih baik karena mempunyai daya ukur yang lebih panjang daripada meteran lipat.

Gambar 71. Meteran

4) Waterpas

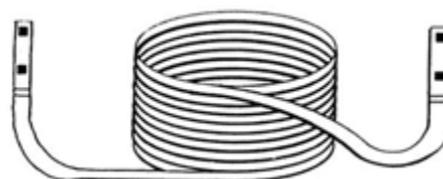
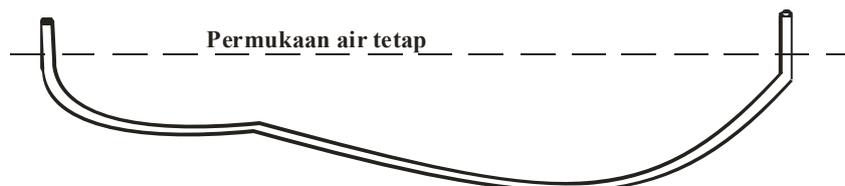
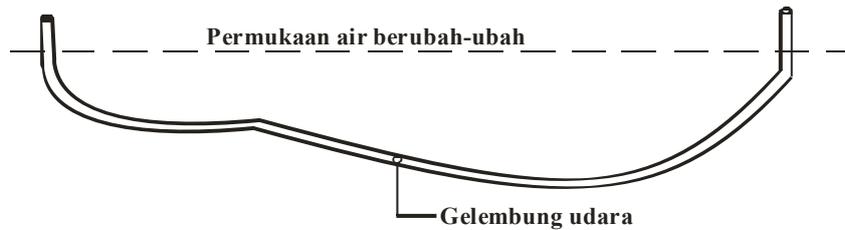
Waterpas digunakan untuk memeriksa / menentukan kedataran papan acuan konstruksi (*bouwplank*), kedataran bagian atas profil dan ketegakan profil. Waterpas yang digunakan sebaiknya yang dibuat dari bahan logam dengan kotak gelembung air (*nivo*) yang tidak mudah berubah karena pengaruh cuaca atau benturan.

Ukuran panjang waterpass bervariasi antara 60-120 cm.

Gambar 72. Waterpass

5) Selang plastik

Alat yang sering digunakan di lapangan untuk memeriksa / menentukan kedataran papan acuan konstruksi (*bouwplank*) atau pun profil selain waterpas, adalah selang plastik yang diisi air. Selang plastik yang digunakan sebaiknya yang bening dengan ukuran diameter 1 cm.

Selang plastik mempunyai daya ukur yang lebih panjang dan ketelitian yang lebih baik daripada waterpas, hanya dalam pengisian air harus hati-hati jangan sampai terdapat gelembung udara di dalamnya.

Jika terdapat gelembung udara di dalamnya, maka akan terjadi permukaan air yang tidak seimbang/sama, sehingga hasil pengukuran permukaan tidak teliti (tidak datar).

Gambar 73. Selang plastik gulung

Gambar 74. Selang plastik diisi air, tidak terdapat gelembung udara

Gambar 75. Selang plastik diisi air, terdapat gelembung udara

6) Unting-unting (lot)

Unting-unting juga sering disebut *lot* digunakan untuk memeriksa / menentukan ketegakan tiang-tiang perancah. Unting-unting dibuat dari bahan logam dengan ukuran berat 200-500 gram.

Penggunaan unting-unting yang lebih berat akan lebih baik, karena gangguan akibat tiupan angin relatif kecil sehingga posisinya akan stabil (tidak goyang).

Gambar 76. Macam-macam bentuk unting-unting

7) Palu cakar

Palu cakar digunakan untuk memukul / membenamkan atau mencabut paku pada saat memasang dudukan tiang di atas bantalan kayu atau pada saat memasang balok kayu pada dudukannya.

Gambar 77. Gambar palu cakar

d) Prosedur Pemasangan dan pembongkaran Perancah

1) Prosedur pemasangan perancah

Pemasangan perancah sebaiknya mempertimbangkan hal-hal tersebut di bawah ini, agar diperoleh hasil yang memuaskan dalam arti kuat dan aman.

(a) Langkah awal yang cukup menentukan adalah persiapan, pengukuran dan pematokan atau pemberian tanda batas-batas pemasangan perancah.

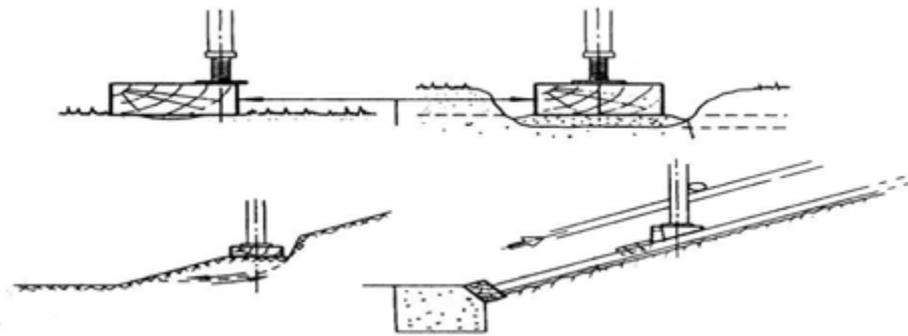
Gambar kerja harus jelas dipahami dan dikuasai, baik bentuk ukurannya terutama ketinggian perancah sesuai dengan spesifikasi teknis.

(b) Bahan-bahan yang digunakan harus cukup jumlahnya sesuai area yang akan dipasang, kuat dengan pemeliharaan teratur.

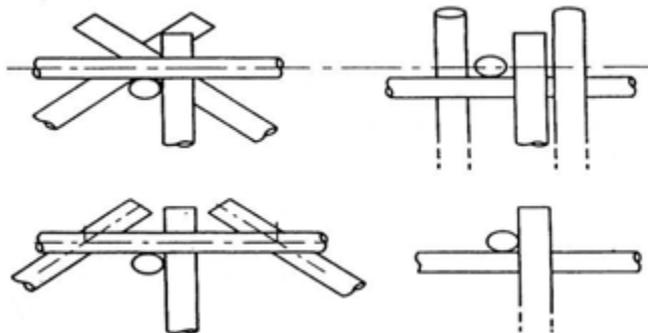
Komponen-komponen penyambung harus dalam kondisi baik.

Pipa-pipa harus lurus dan sama ukuranya sama, kayu-kayu papan bordes tidak lapuk.

(c) Pemasangan perancah harus dikerjakan oleh tenaga kerja yang memiliki pengalaman dan pengetahuan yang cukup di bidangnya.

(d) Pondasi dudukan tiang datar dan dapat menerima beban secara merata

Gambar 79. Pondasi dudukan tiang

(e) Ketegakan dan kedataran perancah harus selalu diperiksa pada setiap tahapan pemasangan

(f) Pertemuan tiang penyokong, siku dan batang horizontal harus diatur sedemikian rupa sehingga tidak terlalu berjauhan dengan tiang. Baut-baut komponen penyambung harus kencang.

Gambar 80. Pertemuan tiang penyokong siku dan batang horizontal

(g) Semua pengikat dan penyokong harus diperiksa supaya berada pada posisi yang semestinya.

Batang-batang pengikat harus kaku dan dipasang pada tempat-tempat yang sudah ditentukan.

Penyokong harus dipasang pada setiap pertemuan tiang, siku dan batang horizontal.

2) Prosedur pembongkaran perancah

Jika pekerjaan dinyatakan sudah selesai atau suatu konstruksi sudah cukup umur sehingga mampu menahan beban sendiri, beban bergerak dan beban lainnya sesuai dengan spesifikasi teknik yang dinyatakan secara tertulis dalam berita acara, maka pembongkaran perancah bisa segera dilakukan.

Didalam melaksanakan pembongkaran perancah, faktor-faktor keselamatan kerja tetap harus menjadi yang paling utama, sehingga pembongkaran harus dilakukan sesuai prosedur yang berlaku.

Perintah pembongkaran **harus dinyatakan secara tertulis** dari pihak-pihak yang terkait sehingga segalanya bisa dipertanggung jawabkan secara bersama.

e) Pemasangan Perancah

1) Pemasangan perancah dengan sistem kerangka satu lapis (*putlog scaffold*)

Perancah dengan sistem kerangka tiang satu lapis digunakan hanya sebagai tempat melakukan aktivitas kerja. Pemasangan dilaksanakan secara bertahap, sesuai dengan ketinggian pekerjaan yang dilakukan dengan langkah-langkah seperti berikut :

(a) Menyiapkan pondasi dudukan tiang

- Pondasi dudukan tiang merupakan salah satu unsur yang sangat penting dalam pekerjaan perancah, sehingga pengerjaannya harus dilakukan secara teliti.
- Pondasi dudukan harus dapat menahan beban para pekerja, bahan-bahan pasangan dan beban-beban lainnya.
- Pondasi dudukan dapat berupa balok kayu yang cukup kuat yang dipasang di atas tanah dasar yang telah dipadatkan atau di atas lantai beton dalam datar.
- Jarak antara pondasi dudukan dengan pasangan maksimum 1,20 m.

(b) Memasang dudukan tiang

- Dudukan tiang dipasang pada tempat-tempat yang sudah ditentukan sesuai dengan persyaratan perancah dan diperkuat dengan paku supaya tidak bergeser dari tempatnya.

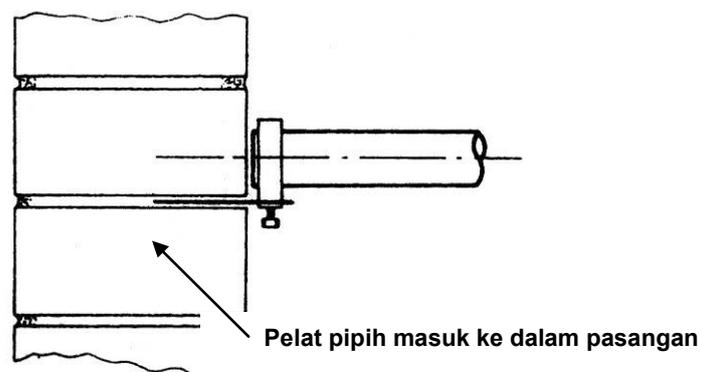
(c) Memasang tiang

- Komponen tiang harus dipilih dan diperiksa kondisinya baik dari segi kelurusan maupun kualitas besinya (karatan, keropos atau tidak).
- Jika dudukan tiang dilengkapi dengan lubang untuk pin sebaiknya tiang dipasang dengan menggunakan pin sehingga lebih aman.

(d) Memasang batang horizontal memanjang (*ledger*)

- Batang memanjang dipasang dengan cara mengikatnya pada tiang-tiang dengan menggunakan klem pengikat.
- Posisi batang memanjang harus datar dan sejajar dengan bidang pasangan.

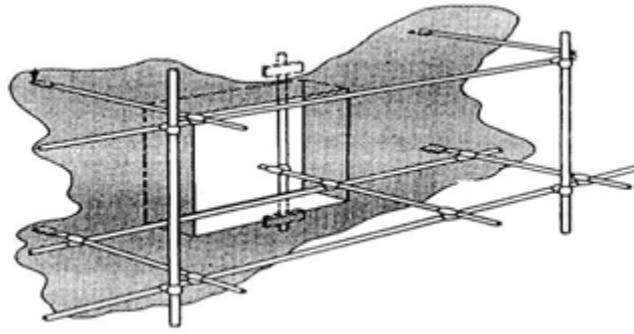
(e) Memasang batang horizontal melintang (*putlog*)

- Batang melintang dipasang dengan cara menempatkan bagian ujung yang pipih masuk di atas pasangan, kemudian ujung lainnya dipasang di atas batang horizontal memanjang (ledger) dan diperkuat dengan klem pengikat.

- Gambar 81. Posisi batang melintang pada pasangan

(f) Memasang penyiku

- Diantara tiang-tiang harus dipasang penyiku yang dihubungkan dengan klem pengikat, sehingga perancah menjadi stabil.

(g) Memasang batang pengikat

- Pengikat harus dipasang pada setiap ketinggian perancah maksimum 3 m dengan jarak maksimal 6 m. Hal ini dilakukan untuk menjaga stabilitas perancah.

Gambar 82. Pemasangan batang pengikat

(h) Memasang papan bordes

Papan bordes untuk tempat bekerja, harus dipasang sesuai persyaratan supaya dapat bekerja dengan aman.

Lebar minimum papan bordes adalah sebagai berikut :

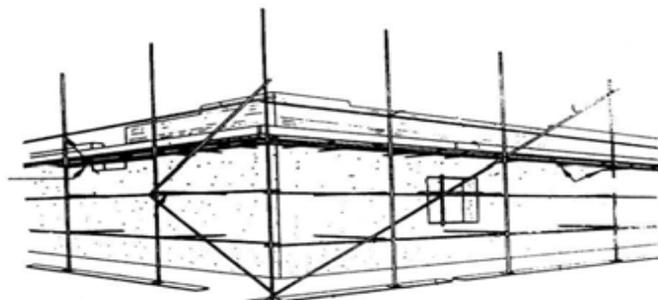
- Untuk pekerja = 0,60 m
- Untuk pekerja dan bahan = 0,80 m
- Untuk roda pengangkut bahan = 1,00 m

Jarak antara sisi papan bordes dengan bangunan maksimum 30 cm.

(i) Memasang papan pengaman

Papan pengaman dipasang di atas batang melintang dalam posisi berdiri, kemudian dijepit dengan menggunakan jepitan pada setiap tiang.

(j) Memasang pegangan

Pegangan dipasang mendatar setinggi 0,90-1,40 m sepanjang perancah dengan klem pengikat yang dipasang pada setiap tiang.

Gambar 83. Pegangan pada perancah dengan sistem kerangka tiang satu lapis

2) Pemasangan perancah sistem rangka (*independent scaffold*)

Perancah sistem rangka digunakan sebagai bangunan sementara untuk melakukan aktivitas kerja dan menopang sementara konstruksi seperti balok beton, lantai beton dan lain-lain sampai konstruksi tersebut benar-benar cukup umur dan stabil.

Perancah jenis ini pemasangannya lebih cepat dan tidak memerlukan banyak komponen pengikat seperti perancah dengan sistim bahan / komponen lepas (*putlog scaffold*).

Pemasangan dilakukan dengan cara seperti berikut :

(a) Memasang pondasi dudukan kaki rangka

- Pondasi dudukan dapat berupa balok kayu yang cukup kuat yang dipasang di atas tanah dasar yang telah dipadatkan atau diatas lantai beton dalam datar.
- Jarak antara pondasi dudukan dengan pasangan maks 1,20 m.

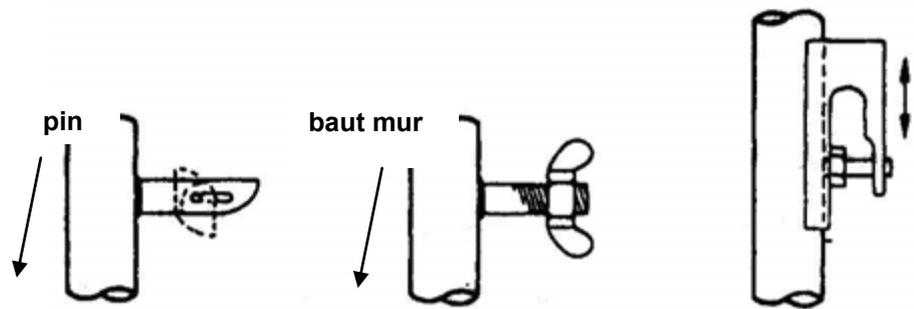
(b) Memasang dudukan kaki rangka

- Dudukan tiang dipasang pada tempat-tempat yang sudah ditentukan sesuai dengan persyaratan perancah dan diperkuat dengan paku supaya tidak bergeser dari tempatnya.
- Jika perancah yang akan dipasang dimaksudkan sebagai penopang sementara konstruksi, maka sebaiknya dipasang dudukan yang dapat diatur turun naik, sehingga mengatur kedataran posisi bekisting balok atau lantai beton yang akan dikerjakan dapat dilakukan dengan mudah.

(c) Memasang rangka

- Setiap rangka dipasang pada dudukan yang susah ditentukan dengan jarak yang sama. Pemasangan rangka bagian atas berikutnya dilakukan dengan cara memasang rangka tersebut tepat di atas rangka bagian bawah, sampai ketinggian yang ditentukan.

(d) Memasang siku

Batang-batang penyiku dipasang menyilang antara yang satu dengan lainnya. Agar penyiku tidak bergeser, setelah siku dipasang, pengunci pada pin ditarik keluar (jika menggunakan pin) atau dipasang mur dan dikencangkan (jika menggunakan mur-baut).

Gambar 84. Pengunci batang penyiku

(e) Memasang papan bordes

Jika perancah akan digunakan sebagai tempat melakukan aktivitas kerja, maka harus dipasang papan bordes.

(f) Memasang papan pengaman

Papan pengaman dipasang di atas rangka dalam posisi berdiri, kemudian dijepit dengan menggunakan jepitan pada setiap tiang rangka.

(g) Memasang tiang penyangga balok

Jika perancah akan digunakan sebagai penopang sementara konstruksi, maka pada tiang rangka bagian atas sebaiknya dipasang tiang penyangga balok yang dapat diatur turun naik untuk mempermudah penyetelan kedataran balok-balok dudukan bekisting.

(h) Memasang batang-batang pengikat

Pengikat harus dipasang pada setiap ketinggian perancah maksimum 3 m dengan jarak maksimal 6 m. Hal ini dilakukan untuk menjaga stabilitas perancah.

(i) Memasang pegangan

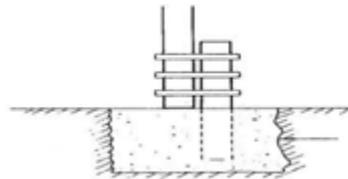
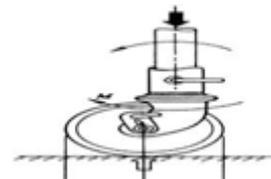
Pegangan dipasang mendatar setinggi 0,90 – 1,40 m dari papan bordes dengan klem pengikat yang dipasang pada setiap tiang.

1) Pemasangan perancah menara (*tower scaffold*)

Perancah menara biasanya digunakan untuk melakukan aktivitas pekerjaan yang sifatnya perbaikan-perbaikan kecil tetapi mempunyai ketinggian tertentu atau sebagai dudukan katrol untuk mengangkat bahan-bahan yang akan dipasang pada ketinggian konstruksi.

(a) Pemasangan perancah menara sistem komponen lepas :

(1) Pemasangan dudukan tiang

Sebelum memasang dudukan tiang perlu ditetapkan terlebih dahulu jenis perancah ini, jika sifatnya tetap (tidak akan dipindah-pindahkan), makaharus dipilih dudukan tetap, bahkan untuk perancah dimana akan dipasang katrol / kerekan bisa dipasang dudukan tetap yang ditanam di dalam beton. Jika perancah akan dipindah-pindahkan sesuai lokasi pekerjaan, maka sebaiknya digunakan dudukan dalam bentuk roda (*castor*).

Gambar 85. Dudukan tiang dicor beton

Gambar 86. Dudukan tiang roda (*castor*)

(2) Pemasangan tiang

Komponen tiang harus dipilih dan diperiksa kondisinya baik dari segi kelurusan maupun kualitas besinya (karatan, keropos atau tidak). Jika dudukan tiang dilengkapi dengan lubang untuk pin sebaiknya tiang dipasang dengan menggunakan pin sehingga lebih aman. Untuk perancah menara gantung tiang dipasang pada dudukan yang sudah dicor dengan adukan beton yang sudah kondisi kering.

(3) Pemasangan batang-batang horizontal

Batang memanjang dipasang dengan cara mengikatnya pada tiang-tiang dengan menggunakan klem pengikat. Posisi batang memanjang harus datar dan sejajar.

(4) Pemasangan penyiku

Penyiku dipasang untuk setiap tahapan sesuai ketinggian batang-batang horizontal, yakni dengan cara dihubungkan dengan klem pengikat, sehingga perancah menjadi stabil.

(5) Pemasangan papan bordes

Papan bordes untuk tempat bekerja harus dipasang sesuai persyaratan supaya dapat bekerja dengan aman.

(6) Pemasangan penguat

Jika perancah sudah mencapai ketinggian tertentu maka harus dipasang penguat agar perancah menjadi stabil. Penguat bisa dalam bentuk tali baja, rangka, rangka dengan tali baja atau rangka dengan angkur (tergantung jenis perancah yang dipasang).

(b) Pemasangan perancah menara dengan sistem rangka

(1) Pemasangan dudukan

Pada dasarnya pertimbangan dan cara pemasangan dudukan sama dengan perancah dengan bahan/ komponen lepas, hanya ukuran panjang dan lebarnya tergantung kepada ukuran rangka-rangka yang ada.

(2) Pemasangan penyiku

Batang-batang penyiku dipasang menyilang antara rangka yang satu dengan lainnya. Agar penyiku tidak bergeser, setelah siku dipasang pengunci pada pin ditarik keluar (jika menggunakan pin) atau dipasang mur dan dikencangkan (jika menggunakan mur-baut).

(3) Pemasangan rangka dan penyiku dilakukan secara berulang sampai mencapai ketinggian yang dikehendaki.

(4) Pemasangan papan bordes

Papan bordes untuk tempat bekerja, harus dipasang sesuai persyaratan supaya dapat bekerja dengan aman dengan cara menempatkannya di atas batang horizontal rangka perancah.

2) Pembongkaran perancah

Pembongkaran perancah tempat kerja dengan sistem komponen lepas

Pembongkaran perancah dengan komponen lepas pada dasarnya adalah sama baik untuk perancah sistem kerangka 1 lapis (*putlog scaffolds*), sistem kerangka dua lapis (*independent scaffolds*) maupun perancah menara (*tower scaffolds*).

Pembongkaran harus dilakukan secara bertahap mulai dari bagian paling atas sampai bagian paling bawah dengan urutan seperti berikut :

(a) Memasang papan bordes dan tangga sementara untuk setiap tahapan perancah yang akan dibongkar.
(b) Melepas semua rambu-rambu keselamatan kerja yang dipasang untuk kemudian disimpan pada tempat yang aman.
(c) Membersihkan semua kotoran dan bahan-bahan sisa yang masih ada pada papan bordes dan jaring pengaman serta menurunkannya.
(d) Membongkar penutup atap dan menurunkan bahan-bahannya (jika bagian atas perancah dipasang penutup atap).
(e) Membongkar jaring-jaring pengaman, menurunkan dan menyimpannya.
(f) Membongkar batang-batang horizontal pengaman (*guard railling*), menurunkan dan menyimpannya terutama pada perancah dengan sistem kerangka satu lapis.
(g) Membongkar batang horizontal melintang dan memanjang, menurunkan dan menyimpannya.
(h) Membongkar tiang-tiang, menurunkan dan menyimpannya
(i) Membongkar batang pengikat (pada bagian-bagian tertentu), menurunkan dan menyimpannya.
(j) Mengulangi langkah-langkah tersebut di atas sampai pekerjaan pembongkaran selesai.
(k) Membongkar dudukan tiang dan menyimpannya.

Pembongkaran perancah tempat kerja dengan sistem rangka

Pembongkaran perancah sistem rangka lebih mudah dan lebih cepat jika dibandingkan dengan perancah sistem komponen lepas, karena konstruksinya lebih sederhana dan tidak terlalu banyak komponen pengikat/ penyambung yang perlu dilepas / dibongkar.

Pada dasarnya urutan pembongkaran perancah sistem rangka hampir sama dengan perancah sistem komponen lepas yakni :

(a) Memasang papan bordes dan tangga sementara untuk setiap tahapan perancah yang akan dibongkar.
(b) Melepas semua rambu-rambu keselamatan kerja yang dipasang untuk kemudian disimpan pada tempat yang aman.

(c) Membersihkan semua kotoran dan bahan-bahan sisa yang masih ada pada papan bordes dan jaring pengaman serta menurunkannya.
(d) Membongkar penutup atap dan menurunkan bahan-bahannya (jika bagian atas perancah dipasang penutup atap).
(e) Membongkar jaring-jaring pengaman, menurunkan dan menyimpannya.
(f) Membongkar siku-siku rangka, menurunkan dan menyimpannya. Membongkar batang horizontal melintang dan memanjang, menurunkan dan menyimpannya.
(g) Membongkar rangka perancah, menurunkan dan menyimpannya.
(h) Membongkar batang pengikat (pada bagian-bagian tertentu), menurunkan dan menyimpannya.
(i) Mengulangi langkah-langkah tersebut di atas sampai pekerjaan pembongkaran selesai.
(j) Membongkar dudukan tiang dan menyimpannya.

Pembongkaran perancah pendukung konstruksi cetakan beton (bekisting)

Pembongkaran perancah pendukung konstruksi cetakan beton (bekisting) sedikit berbeda dengan perancah tempat melakukan aktivitas kerja karena adanya penggunaan komponen yang berbeda.

Urutan pembongkaran adalah sebagai berikut :
(a) Memasang papan bordes dan tangga sementara untuk setiap tahapan perancah yang akan dibongkar
(b) Melepas paku atau baut pengikat balok cetakan pada tiang dudukan balok
(c) Membongkar dudukan balok dari tiang perancah dengan cara memutar baut pengatur tinggi / kedataran pada dudukan.
(d) Membongkar siku (baik pada perancah sistem komponen lepas maupun sistem rangka), menurunkan dan menyimpannya.
(e) Membongkar batang horizontal melintang dan memanjang, menurunkan dan menyimpannya
(f) Membongkar tiang (pada perancah sistem komponen lepas) atau rangka (pada perancah sistem rangka), menurunkan dan menyimpannya

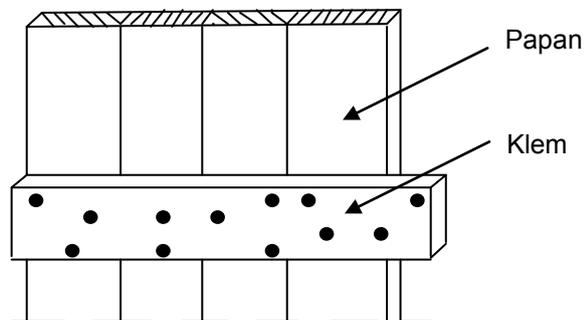
(g) Membongkar dudukan tiang dan menyimpannya.

4) Tugas 4. Sistem Sambungan Bekisting Kolom

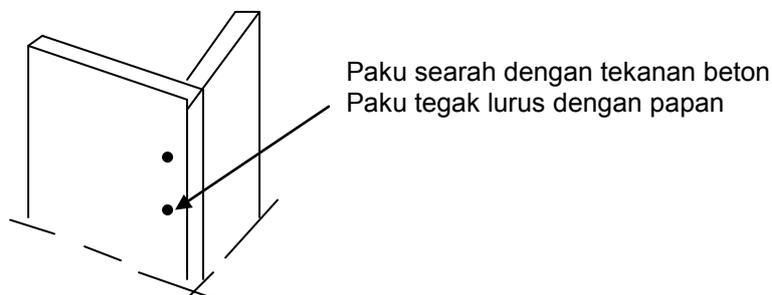
Cara menyambung papan cetakan. Bila papan kurang lurus, harus diketam lebih dulu agar lurus dan rata. Sambung papan cetakan dengan baik, tidak boleh bocor.

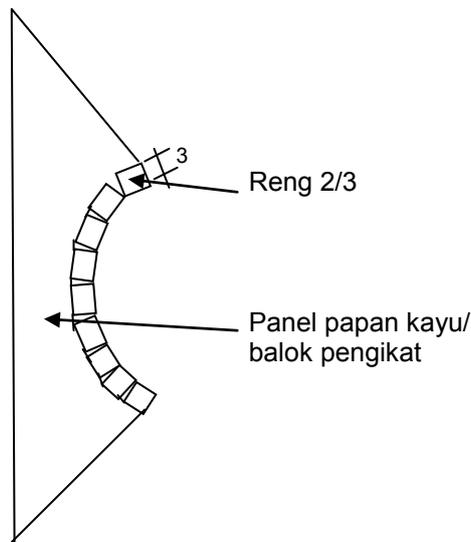
a) Penyambungan papan cetakan dengan klem

Penyambungan papan cetakan dengan klem kayu menggunakan paku, pemasangannya secara berselang seling, tidak segaris.

Fungsi klem hanya untuk merangkai papan-papan, bukan untuk perkuatan bekisting dalam menahan tekanan cor beton.

Gambar 87. Penyambungan Papan Cetakan

b) Penyambungan papan siku

Papan siku bekisting disambung menggunakan paku searah dengan tekanan beton

Gambar 88 Penyambungan Papan Siku

c) Penyambungan cetakan/ bekisting berbentu bulat.

Gambar 89. Panel cetakan seperempat lingkaran

Langkah kerja pembuatan panel cetakan/bekisting kolom :

1. Cetakan/ bekisting dibuat dari bahan reng yang disusun pada panel papan kayu berbentuk bulat/busur bagian dalam (gambar diatas).
2. Masing-masing reng dipakukan pada panel papan kayu sebagai ―balok" pengikat.
3. Dalam satu kolom terdiri dari empat panel papan kayu sebagai ―balok" pengikat horizontal untuk kolom kurang dari 850 mm dapat juga terdiri dari enam panel papan kayu untuk kolom lebih besar dari 850 mm.

(b) Sistem perkuatan bekisting kolom

a) Jarak sumbu tumpuan bekisting pada kolom.

Untuk jarak perkuatan kolom dipengaruhi oleh beberapa faktor :

(1) Konsistensi/ kekentalan beton
(2) Kecepatan mengecor beton/mengisi bekisting.
(3) Cara perawatan beton (memukul bekisting atau menggunakan alat getar pada waktu mengecor).
(4) Bentuk benda yang akan dicor.
(5) Tinggi benda yang akan dicor.
(6) Jangka waktu beton mengeras.

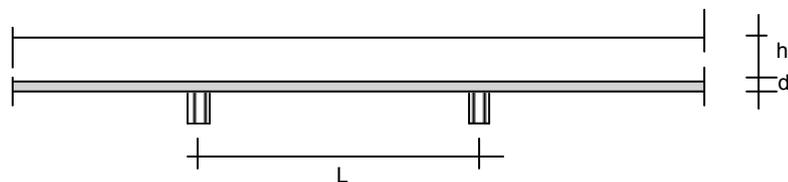
Hasil perhitungan secara teknis tekanan yang bekerja pada bekisting kolom dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

Jika dinding yang hendak dicor agak tinggi, maka didalam begisting timbul efek silo menara yang berarti tekanan pada bekisting akan merata (tidak naik lagi) seperti diterangkan pada gambar dibawah ini.

Gambar 90. Tekanan yang timbul dalam konstruksi bekisting beton pada waktu pengecoran

Untuk pemakaian secara praktis jarak perkuatan balok kayu pada kolom antara 50 sampai 60 cm atau sesuai spesifikasi.

b) Jarak sumbu tumpuan bekisting pada lantai beton

Agar beton tidak melengkung, maka waktu membuat bekisting jarak sumbu tumpuan bekisting harus memenuhi persyaratan tertentu.

Gambar 91. Jarak Sumbu Tumpuan

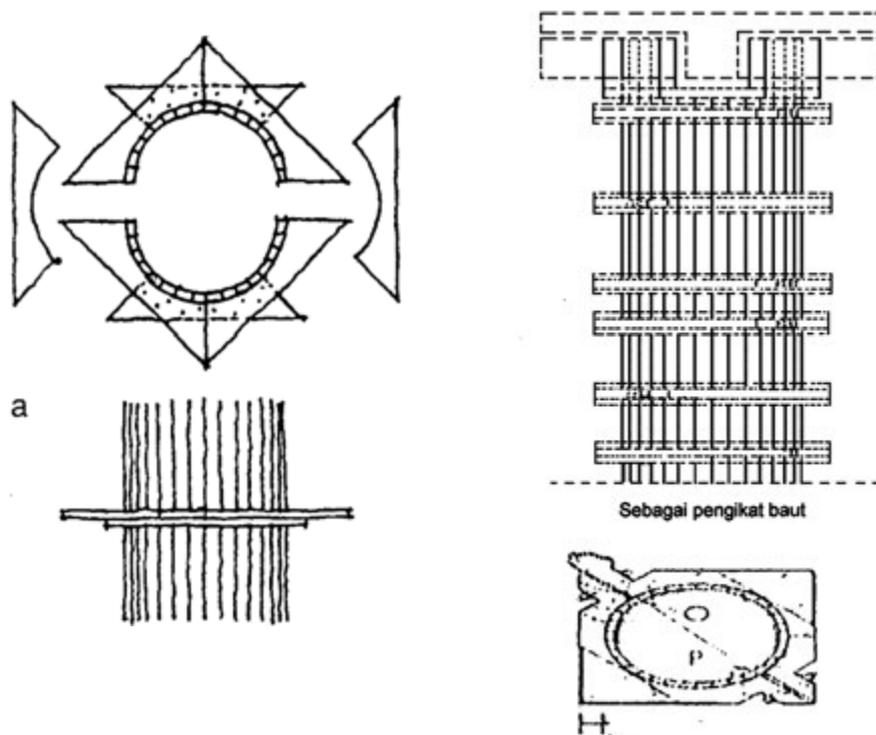
H	d = 2	2.5	3	3,5	4	5	6	7	8	10
	L									
8	76	95	114	133	152	190	228	256	304	380
10	70	88	105	123	141	176	211	246	281	351
12	66	83	100	116	133	166	199	233	265	332
15	62	77	92	108	123	153	185	216	246	307
20	56	70	84	98	112	140	168	196	223	279
30	49	61	74	86	98	122	147	171	195	244

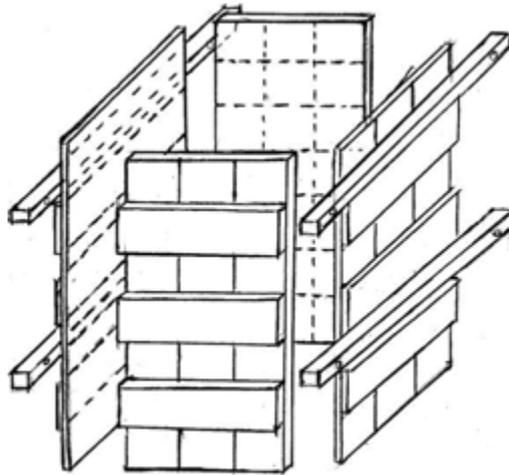
Dimana :

L : jarak suatu tumpuan kayu bekisting dalam cm.

d : tebal papan/balok bekisting dalam cm.

h : tebal/ tinggi beton yang akan dicor dalam cm.

c) Perkuatan cetakan kayu pada kolom.

Gambar 92. Perkuatan cetakan kayu pada kolom

(c) Perakitan Papan-Papan atau Panel Kayu Lapis yang telah dipotong menjadi Bekisting Kolom

Gambar 93. Perakitan Papan-papan menjadi Bekisting Kolom

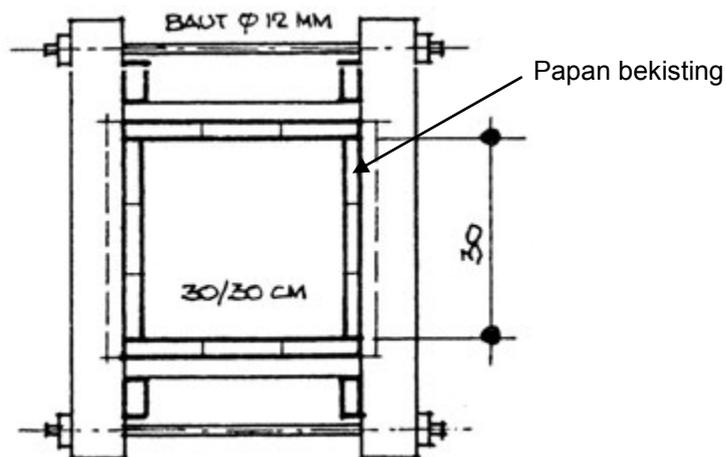
Langkah kerja perakitan papan/panel kayu lapis menjadi bekisting kolom :

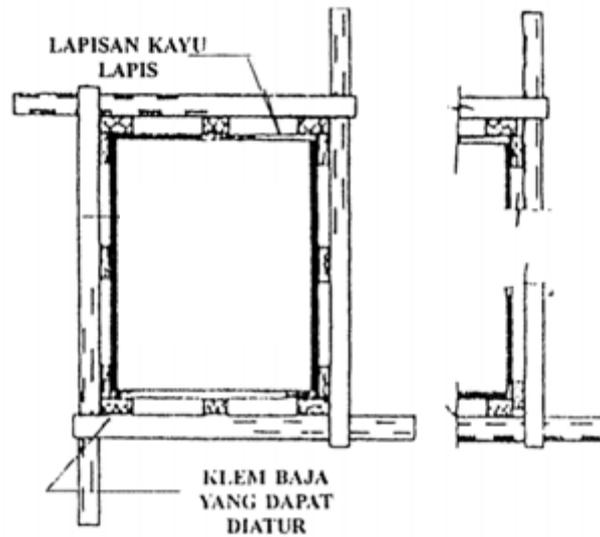
- Memotong papan cetakan sesuai gambar kerja/kolom.
- Merangkai papan cetakan dengan klem menggunakan paku.
- Memasang balok perkuatan pada rangkaian papan untuk tempat pemasangan baut (cukup dua pasang).

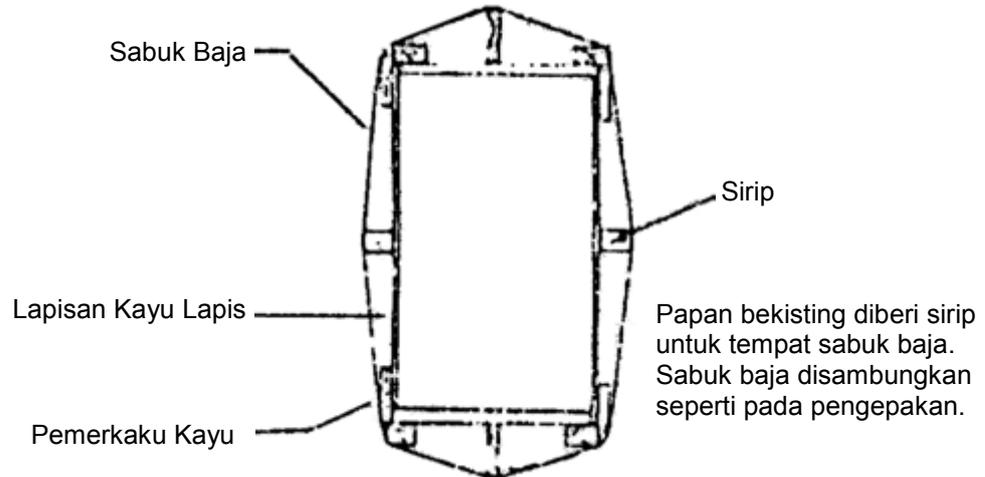
a) Pemasangan Perkuatan Bekisting

Perkuatan pemasangan perkuatan bekisting dimaksudkan agar bekistng mampu menahan tekanan cor beton.

Ada beberapa cara perkuatan bekisting :

a. Dengan menggunakan baut.

Gambar 94. Cetakan dengan menggunakan baut

b. Dengan menggunakan klem baja yang dapat diatur

Gambar 95 . Cetakan dengan klem baja yang dapat diatur

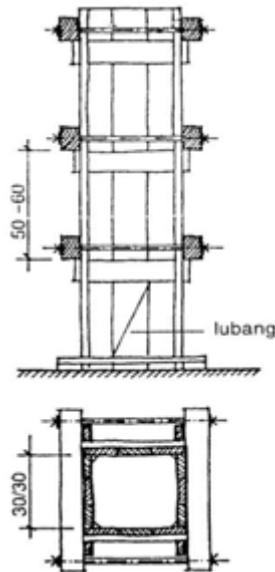
c. Dengan menggunakan sabuk baja

Gambar 96. Cetakan kolom dengan menggunakan sabuk baja

b) Pemasangan Bekisting Kolom atau Dinding

Untuk pemasangan bekisting diperlukan perancah yang kuat, kokoh bersifat sementara yang akan dibongkar, bila pekerjaan beton sudah selesai.

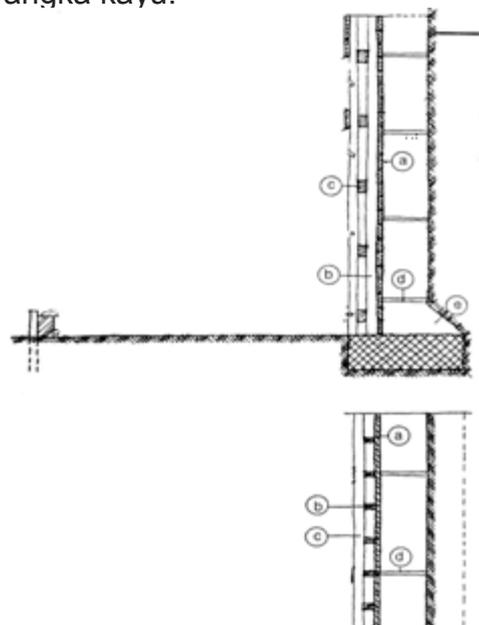
(1) Mendirikan Bekisting Kolom atau Dinding

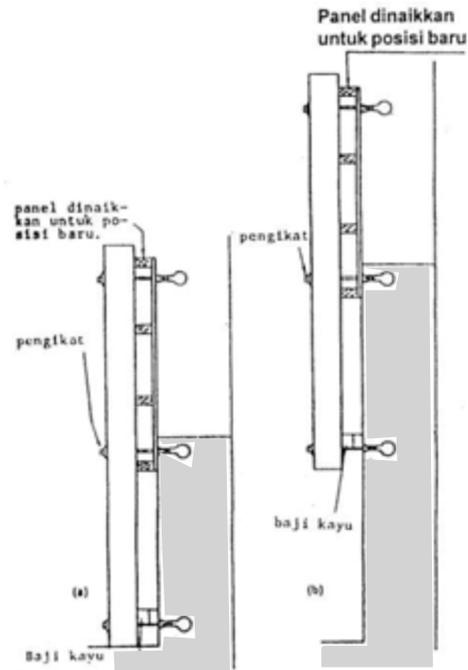
Mendirikan bekisting kolom

Sebelum kolom beton dicor, harus dibuat sebuah lubang pembersih di bagian kaki. Lubang tersebut dapat ditutup dengan papan dari sebelah luar.

Gambar 97. Bekisting Kolom

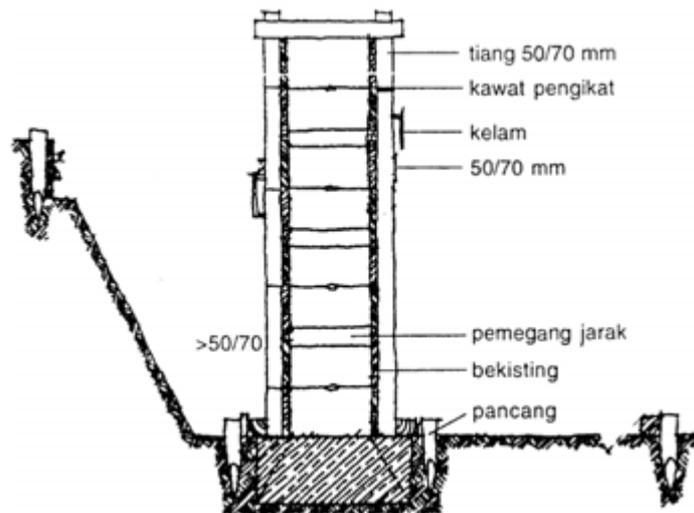
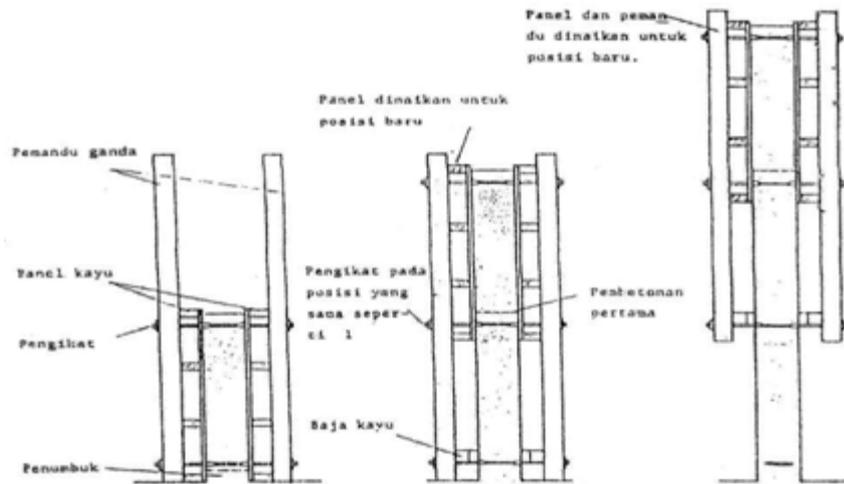
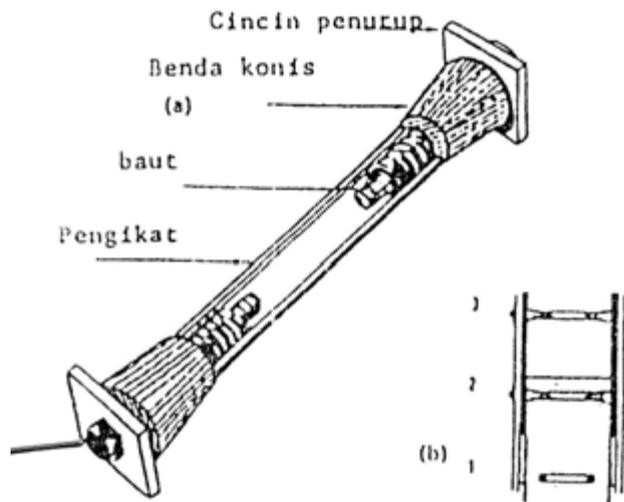
(2) Mendirikan bekisting dinding

Cetakan satu sisi

Cetakan dinding satu sisi dibuat dengan papan kayu atau panel kayu dan kerangka kayu.

a. Papan bekisting.
b. Balok tiang.
c. Balok memanjang.
d. Pemegang jarak.
e. Kaki dinding yang dipertebal

Gambar 98. Cetakan dinding penahan tanah dengan papan kayu dan kerangka kayu

Gambar 99. Cetakan mendaki (Climbing Formwork) satu sisi

Cetakan dua sisi

Cetakan dua sisi menggunakan jangkar sebagai pengatur tebal dinding. Jangkar cetakan untuk dua sisi terdiri atas : kawat, baut, benda konis dan cincin penutup. Untuk jelasnya lihat gambar dibawah ini.

Gambar 100. Potongan Bekisting Dinding Beton

Gambar 101. Cetakan mendaki (climbing Formwork) dua sisi

Gambar 102. Detail jangkar cetakan

Keterangan:

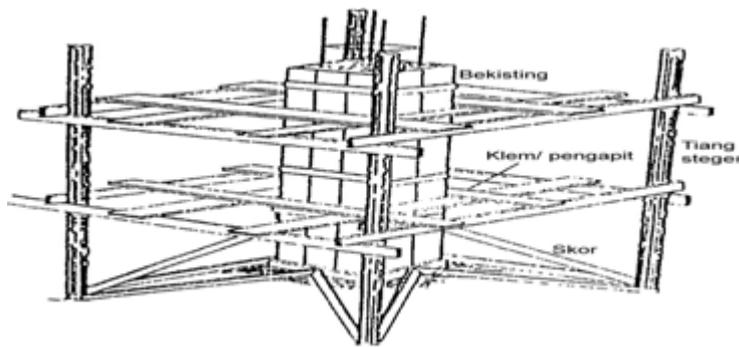
1. Baut dilepas dan lubang ditutup.
2. Jangkar atas dijadikan tempat pegangan cetakan untuk pembetonan selanjutnya.
3. Jangkar dipasang baru.

Gambar 103. Kawat jangkar

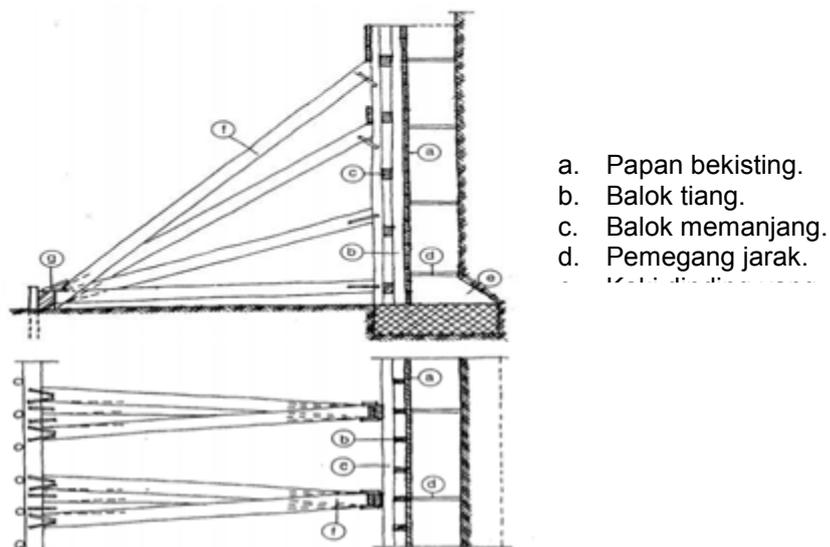
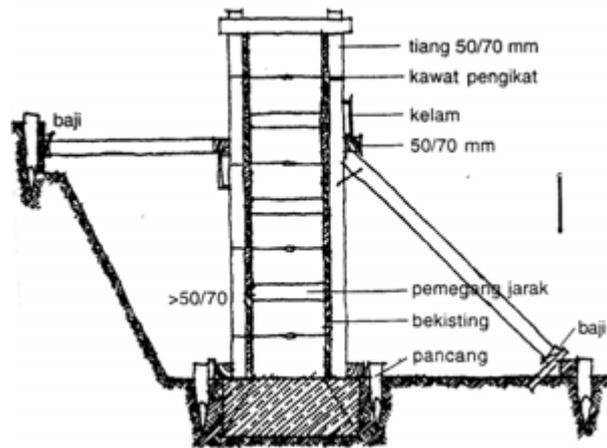
c) Pemasangan Perkuatan Diagonal

(1) Pemasangan perkuatan diagonal kolom

Langkah kerja perkuatan kolom

- Tanam tiang tegak kurang lebih 0,5 meter diluar kolom cukup dalam (bila tiang terletak di tanah lantai dasar), sebagai pendukung utama yang menjaga agar cetakan kolom tetap berdiri tegak.
- Buat perancah setinggi kurang lebih 1 meter dan 2 meter dari dasar kolom dengan bahan balok atau papan kayu (gambar a) yang menggapit kolom, agar kolom tidak dapat bergerak. Hubungan balok dengan balok/kolom menggunakan paku.
- Pasang skor-skor pada dasar kolom yang menghubungkan tiang tegak dengan kolom (gambar dibawah).

Gambar 104. Cetakan kolom dengan perkuatannya

Pemasangan perkuatan diagonal dinding

a. Papan bekisting.
b. Balok tiang.
c. Balok memanjang.
d. Pemegang jarak.

Gambar 105. Konstruksi bekistng dinding penahan tanah

Gambar 106. Potongan bekisting dinding beton

d) Pemasangan Bekisting Balok dan Pelat Lantai

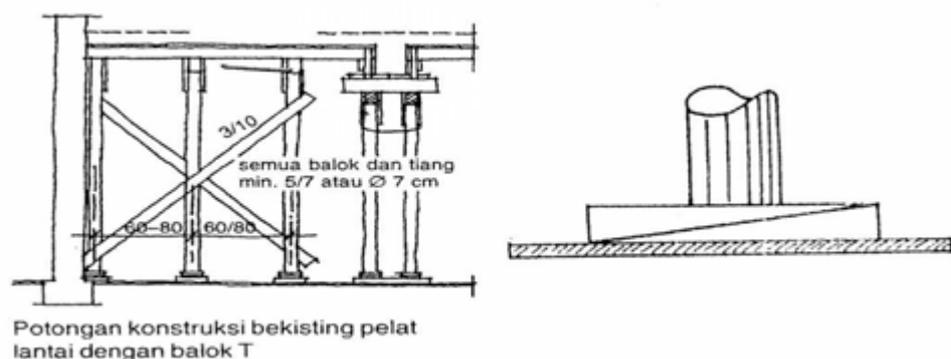
Pemasangan Papan-Papan/ Panel Penutup Bekisting yang telah dipotong, diatas Perancah

Penyangga atau perancah dibuat untuk mendukung bekisting lantai dan balok lantai.

Persyaratan penyangga kayu antara lain :

- Tiang penyangga harus terbuat dari bahan kayu yang tidak mudah lapuk dan tidak mudah patah
- Tiang penyangga harus tetap kokoh mampu menahan beban saat pelaksanaan pengecoran beton

Disamping penyangga dari kayu ada juga penyangga dari metal dengan keuntungan antara lain :

- Lebih kuat, sehingga mampu menahan beban lebih besar.
- Lebih cepat pemasangan dan pembongkaran.
- Lebih mudah disambung.

Gambar 107. Cetakan/bekisting dari papan kayu/panel kayu lapis

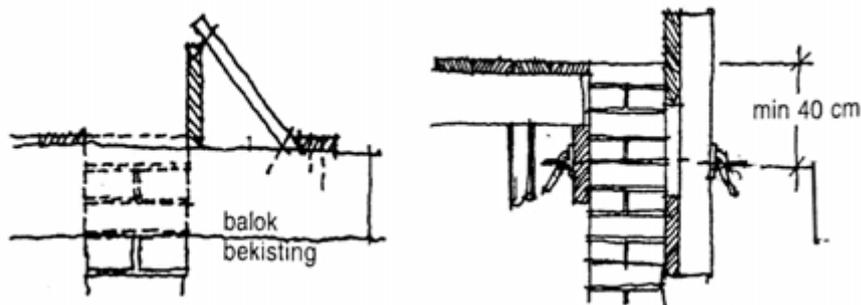
untuk balok dan plat lantai, beserta penyangga dan kakinya

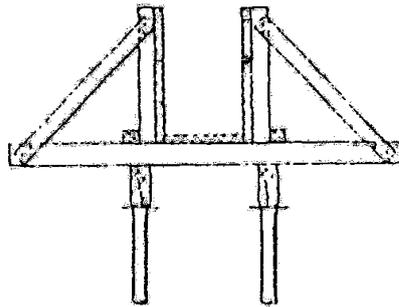
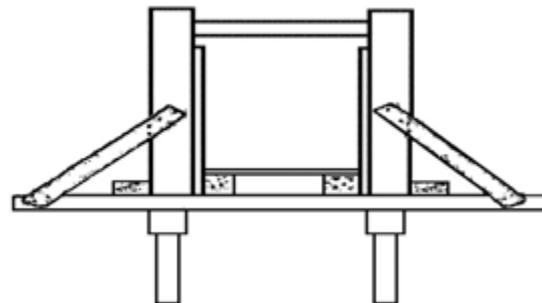
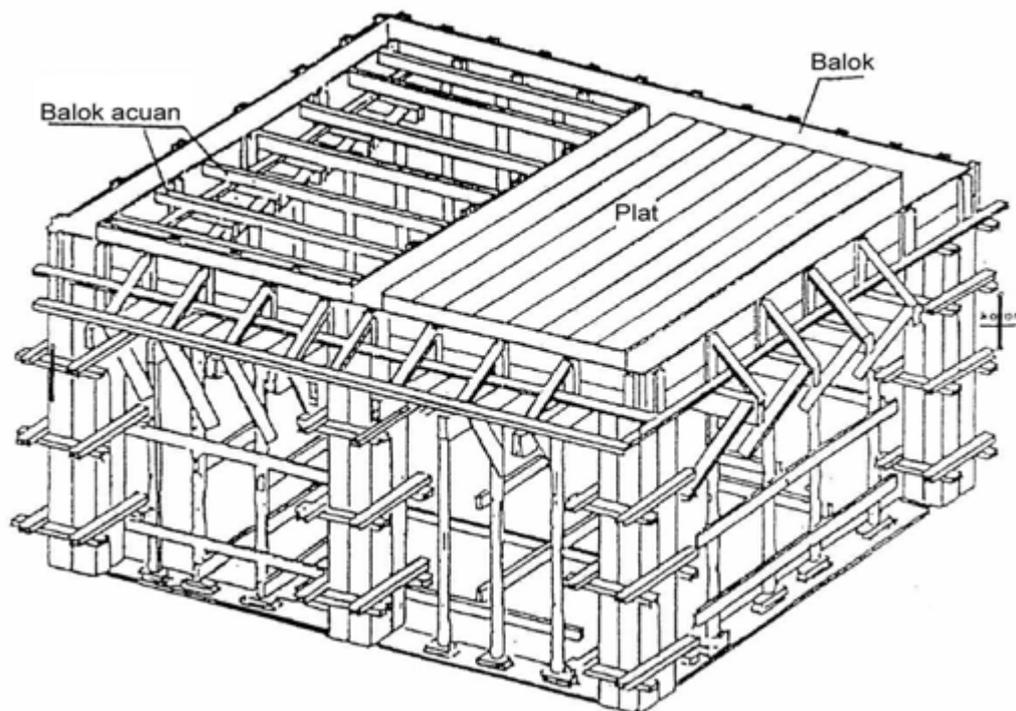
Pemasangan baji pada kaki berfungsi untuk menyetel ketinggian dan memudahkan pembongkaran, sedangkan papan alas kaki supaya konstruksi tidak turun karena menahan beban cor beton

Langkah kerja pemasangan bekisting lantai/ balok lantai :

- Mendirikan penyangga/ perancah/ steger diatas papan dan baji.
- Memotong penyangga/ steger pada elevasi bawah lantai beton/ balok beton.
- Memasang balok diagonal sebagai penguat penyangga agar tegak berdiri dan tidak berubah bentuk dalam menahan beban cor beton.
- Memasang balok horizontal sebagai perletakan bekisting papan kayu/ panel kayu lapis dan dipakukan pada steger.
- Memasang bekisting papan kayu/ panel kayu lapis secara rapat, rata dan dipakukan pada balok horizontal sesuai bentuk lantai dan bolok lantai.

e) Pemasangan Perkuatan Bekisting

Agar bekisting mampu menahan tekanan horizontal cor beton, maka bekisting perlu diperkuat dengan memasang balok skor pada tepi lantai beton dan dinding balok beton.

Gambar 108. Konstruksi tepi pada pelat lantai beton balok T maupun yang datar

Membuat konstruksi cetakan balok melintang lantai beton.

Gambar 109. Perkuatan balok melintang mempergunakan batang penguat samping

Gambar 110. Perkuatan balok melintang memergunakan batang penguat samping dan baut

Gambar 111. Stereometris bekisting lantai dan kolom

Langkah kerja perkuatan bekisting balok lantai :

- Memasang papan kayu/panel kayu lapis pada lantai balok ditempat dengan lebar sesuai gambar kerja.
- Memasang rangkaian papan kayu/panel kayu lapis sebagai bekisting dinding balok sesuai gambar kerja.
- Memasang balok penguat horizontal untuk menahan tekanan kesamping/ horizontal cor beton dengan menggunakan paku.
- Memasang skor/ balok penguat samping dengan menggunakan paku.

c. Rangkumam

1) Bangunan perancah sebagai penopang konstruksi, diperlukan untuk menahan konstruksi menjadi stabil. Disamping itu juga untuk mendukung alat pengangkut dan tempat yang sifatnya sementara untuk komponen-komponen lainnya sebelum dipindahkan pada posisinya yang pasti
2) Pada dasarnya pembuatan perancah mempunyai tujuan sebagai berikut:
   - Melakukan aktivitas kerja pada pekerjaan konstruksi
   - Pendukung konstruksi sementara, seperti bekisting balok / lantai beton
   - Tempat menyimpan peralatan atau bahan-bahan yang akan dipasang, seperti bata, adukan dan sebagainya.
3) Rancangan suatu perancah akan tergantung kepada faktor-faktor berikut :
   - Kemudahan dalam pemasangan
   - Pertimbangan Ekonomis
   - Keselamatan Kerja
   - Stabilitas Struktur

d. Tugas

1) Pemasangan Perancah Sistem komponen Lepas untuk Area Kerja

(a) Alat dan Bahan

(1) Alat : Kunci pas, kunci ring, kunci shock, waterpas, selang plastik, palu, pojer

(2) Bahan : Pipa besi, komponen-perancah (pengikat, penyambung, dudukan tiang, dudukan balok, jepitan), papan, balok, paku, benang, tangga, rangka perancah

(b) Langkah kerja

- Mempelajari gambar kerja
- Mengukur dan menentukan titik-titik posisi tiang perancah
- Meratakan tanah pondasi dudukan tiang
- Memadatkan tanah pondasi dudukan tiang
- Memasang balok dudukan tiang

- Memeriksa/menentukan kedataran balok dengan waterpas/selang plastik
- Mengukur dan menentukan posisi dudukan tiang pada balok
- Memasang dudukan tiang dan menguatkannya dengan paku
- Memasang tiang-tiang di atas dudukannya
- Memasang penyiku sementara pada tiang dengan menggunakan klem pengikat putar
- Memasang batang horizontal memanjang dan mengikatnya pada tiang dengan klem pengikat siku tetap
- Memasang batang horizontal melintang dan mengikatnya dengan klem pengikat siku tetap
- Memasang papan bordes di atas batang horizontal melintang
- Memasang papan pengaman di atas batang horizontal melintang dan mengikatnya dengan penjepit

(c) Penilaian

No.	Aspek yang diukur	Kriteria Penilaian	L/TL	Rekom
1.	Mengukur dan menentukan titik-titik posisi tiang perancah	-Posisi tiang perancah diukur sesuai gambar -Posisi tiang perancah ditentukan sesuai gambar		
2.	Meratakan dan memadatkan tanah pondasi dudukan tiang	-Tanah pondasi tiang diratakan sesuai elevasi yang ditetapkan -Tanah pondasi tiang dipadatkan sesuai kepadatan yang ditetapkan		
3.	Memasang balok dudukan tiang	-Balok dudukan tiang dipasang sesuai jarak tiang perancah		
4.	Memeriksa/menentukan kedataran balok dudukan tiang	-Kedataran balok dudukan tiang diperiksa dengan waterpas		
5.	Mengukur dan menentukan posisi dudukan tiang pada balok	-Posisi tiang perancah diukur sesuai gambar -Posisi tiang perancah ditentukan sesuai gambar		
6.	Memasang dudukan tiang	-Dudukan tiang dipasang di atas balok dengan perkuatan paku		
7.	Memasang tiang-tiang di atas dudukannya	-Tiang perancah dipasang di atas dudukannya sesuai prosedur		
8.	Memasang penyiku sementara pada tiang perancah	-Penyiku sementara dipasang pada tiang perancah dengan menggunakan klem pengikat putar -Mur-baut klem pengikat putar dikencangkan sesuai aturan		

9.	Memasang batang memanjang	-Batang memanjang dipasang pada tiang perancah dengan klem pengikat siku tetap -Mur-baut klem pengikat siku tetap dikencangkan sesuai aturan		
10.	Memasang batang melintang	-Batang melintang dipasang di atas batang memanjang dengan klem pengikat siku tetap -Mur-baut klem pengikat siku tetap dikencangkan sesuai aturan		
11.	Memasang papan bordes	Papan bordes di atas batang melintang sesuai ketentuan		
12.	Memasang papan pengaman	Papan pengaman dipasang di atas batang melintang dan mengikatnya dengan penjepit pada tiang		

Penilai,

a. Pemasangan Perancah system rangka Untuk Area kerja.

(a) Alat dan Bahan

(1) Alat : Kunci pas, kunci ring, kunci shock, waterpas, selang plastik, palu, pojer

(2) Bahan: Komponen-perancah (dudukan tiang, rangka perancah, batang penyiku, jepitan), papan, dan tangga

(b) Langkah kerja

(1) Mempelajari gambar kerja

(2) Mengukur dan menentukan titik-titik posisi rangka perancah

(3) Meratakan tanah pondasi dudukan rangka

(4) Memadatkan tanah pondasi dudukan rangka

(5) Memasang balok dudukan rangka

(6) Memeriksa/menentukan kedataran balok dengan waterpas/selang plastik

(7) Mengukur dan menentukan posisi dudukan rangka pada balok

(8) Memasang dudukan rangka dan menguatkannya dengan paku

(9) Memasang rangka-rangka di atas dudukannya

(10) Memasang penyiku pada rangka dan memutar *pin*-nya

(11) Memasang papan bordes di atas batang melintang rangka perancah

(12) Memasang papan pengaman di atas batang melintang dan mengikatnya dengan penjepit

(c) Penilaian

No.	Aspek yang diukur	Kriteria Penilaian	L/TL	Rekom
1.	Mengukur dan menentukan titik-titik posisi rangka-rangka perancah	-Posisi rangka-rangka perancah diukur sesuai gambar -Posisi rangka-rangka perancah ditentukan sesuai gambar		
2.	Meratakan dan memadatkan tanah pondasi dudukan rangka perancah	-Tanah pondasi rangka diratakan sesuai elevasi yang ditetapkan -Tanah pondasi rangka dipadatkan sesuai kepadatan yang ditetapkan		
3.	Memasang balok dudukan rangka perancah	-Balok dudukan rangka dipasang sesuai ukuran lebar rangka perancah		
4.	Memeriksa/menentukan kedataran balok dudukan rangka perancah	-Kedataran balok dudukan rangka diperiksa dengan waterpas		
5.	Mengukur dan menentukan posisi dudukan rangka pada balok	-Posisi rangka perancah diukur sesuai gambar -Posisi rangka perancah ditentukan sesuai gambar		
6.	Memasang dudukan rangka perancah	-Dudukan rangka perancah dipasang di atas balok dengan perkuatan paku		
7.	Memasang rangka perancah di atas dudukannya	-Rangka-rangka perancah dipasang di atas dudukannya sesuai prosedur		
8.	Memasang penyiku pada rangka perancah	-Penyiku dipasang pada rangka-rangka perancah sesuai ukuran jarak rangka perancah -Pin dipasang sesuai prosedur		
9.	Memasang papan bordes	-Papan bordes di atas batang melintang sesuai ketentuan		
10.	Memasang papan pengaman	-Papan pengaman dipasang di atas batang melintang dan mengikatnya dengan penjepit pada tiang rangka perancah		

…………………, …..……..

Penilai,

e. Tes Formatif

Soal Pilihan-ganda

Pilih salah satu alternatif jawaban a, b, c atau d dengan memberi tanda silang (X) pada lembar jawaban yang tersedia!

1. Fungsi perancah pada pekerjaan konstruksi adalah seperti berikut, **kecuali**:
   a. tempat melakukan kegiatan/bekerja
   b. tempat bahan yang akan dipasang
   c. tempat pekerja beristirahat
   d. pendukung bekisting beton
2. Salah satu faktor yang mempengaruhi pemilihan konstruksi perancah pada suatu pekerjaan adalah :
   a. kemudahan dalam pemasangan
   b. adanya tenaga pemasang
   c. luas proyek yang dikerjakan
   d. jenis pekerjaan yang dikerjakan
3. Waterpas dalam pekerjaan perancah digunakan untuk memeriksa :
   a. kedataran dan kesikuan perancah
   b. kedataran dan ketegakan perancah
   c. ketegakan dan kesikuan perancah
   d. kesikuan dan kemiringan perancah
4. Bahan yang paling baik dalam arti secara konstruksi dapat dipertanggung jawabkan adalah :
   a. kayu
   b. alumunium
   c. bambu
   d. besi
5. Kunci pas dalam pekerjaan perancah digunakan untuk mengencangkan/melepas mur-baut :
   a. dudukan tiang tetap
   b. dudukan tiang dengan pin
   c. penyambung paralel
   d. dudukan balok biasa

6. Mata ulir pengencang tali baja perancah menara, dikencangkan /dilepas dengan menggunakan :
   a. kunci pas
   b. pojer
   c. kunci ring
   d. kunci socket
7. Untuk mengikat tiang dengan batang horizontal memanjang pada perancah sistem komponen lepas, digunakan :
   a. jepitan ujung
   b. klem pengikat siku tetap
   c. klem pengikat siku putar
   d. penyambung tiang
8. Untuk menyambung batang horizontal pada perancah sistem komponen lepas, digunakan :
   a. penyambung paralel
   b. klem pengikat siku
   c. jepitan ujung
   d. penyambung tiang
9. Baji digunakan sebagai alat bantu dudukan tiang tetap jika posisi bantalan terpaksa dalam kondisi :
   a. rata
   b. datar
   c. lengkung
   d. miring
10. Perancah pendukung bekisting sebaiknya menggunakan dudukan :
    a. tetap
    b. tetap dengan pin
    c. dengan ulir
    d. tidak tetap
11. Tiang penyangga balok dipasang pada tiang perancah yang berfungsi sebagai :
    a. area bekerja
    b. tempat bahan yang akan dipasang
    c. pendukung bekisting
    d. lalu lintas bahan

12. Untuk mengerjakan pekerjaan perbaikan kecil pada bangunan tinggi yang terdiri dari beberapa tempat terpisah, sebaiknya digunakan perancah menara dengan :
    a. dudukan roda
    b. dudukan tetap
    c. penguat rangka
    d. penguat tali baja
13. Supaya konstruksi perancah sistem kerangka tiang satu lapis posisiny stabil, maka antara tiang-tiang, batang horizontal memanjang dan melintang harus dipasang :
    a. pegangan
    b. penyiku
    c. pengikat
    d. penyambung
14. Kelebihan perancah sistem rangka adalah lebih :
    a. stabil konstruksinya
    b. sulit pemasangannya
    c. mudah pemasangannya
    d. mudah diperolehnya
15. Pada setiap ketinggian lebih dari 3 m dengan panjang 6 m perancah harus dipasang :
    a. pegangan
    b. penyiku
    c. pengikat
    d. penyambung
16. Fungsi papan bordes pada perancah adalah seperti berikut, kecuali :
    a. tempat istirahat pekerja
    b. tempat bahan yang akan dipasang
    c. lalu lintas pekerja
    d. area tempat bekerja
17. Fungsi utama pegangan (*hand rail*) pada perancah adalah untuk :
    a. mengikat tiang-tiang
    b. pengaman pekerja
    c. dudukan papan bordes
    d. dudukan batang horizontal melintang

18. Fungsi utama jaring pada perancah adalah untuk :
    a. menahan benda-benda jatuh
    b. menutupi kegiatan pekerja
    c. memenuhi persyaratan
    d. melindungi pekerjaan dari cuaca
19. Alat sederhana yang cukup baik untuk memeriksa/menentukan kedataran dudukan balok bekisting adalah :
    a. unting-unting
    b. meteran
    c. selang plastik
    d. pojer
20. Penyokong, siku dan batang horizontal pada perancah sistem komponen lepas harus dipasang :
    a. berjauhan dengan tiang
    b. satu sama lain berjauhan
    c. jadi satu ketiga-tiganya
    d. dekat dengan tiang
21. Jarak antara pondasi dudukan tiang pada perancah dengan kerangka tiang satu lapis dengan pasangan dinding bata adalah :
    a. 80 cm
    b. 120 cm
    c. 140 cm
    d. 160 cm
22. Tanah dasar untuk pondasi dudukan tiang perancah, harus memenuhi syarat seperti berikut, kecuali :
    a. datar
    b. padat
    c. bergelombang
    d. rata
23. Lebar minimum papan bordes untuk pekerja adalah :
    a. 20 cm
    b. 30 cm
    c. 40 cm
    d. 60 cm
24. Lebar minimum papan bordes untuk pekerja dan bahan adalah :

a. 50 cm
b. 60 cm
c. 70 cm
d. 80 cm

25. Batang pengikat harus dipasang pada setiap :
    a. tinggi 3 m – jarak 6 m
    b. tinggi 3 m – jarak 12 m
    c. tinggi 6 m – jarak 6 m
    d. tinggi 6 m – jarak 12 m
26. Ukuran tinggi pegangan dari atas papan bordes adalah :
    a. 50 – 80 cm
    b. 90 – 140 cm
    c. 150 – 170 cm
    d. 180 – 200 cm

27. Secara garis besar urutan pemasangan perancah untuk bekisting lantai beton dengan sistem rangka adalah :
    a. memasang dudukan tiang – memasang penyiku – memasang rangka – memasang dudukan balok
    b. memasang dudukan tiang – memasang rangka – memasang penyiku – memasang dudukan balok
    c. memasang dudukan tiang – memasang rangka – memasang penyiku – memasang bordes
    d. memasang dudukan tiang – memasang penyiku – memasang rangka – memasang bordes
28. Faktor utama yang harus dipertimbangkan dalam membongkar perancah adalah faktor :
    a. ekonomis
    b. waktu
    c. keselamatan kerja
    d. cuaca
29. Tindakan yang tidak termasuk cara merawat komponen perancah adalah :
    a. mengecat
    b. menyimpan di gudang
    c. membersihkan

d. membongkar

30. Perancah pendukung bekisting sebaiknya menggunakan pendukung balok :
    a. biasa
    b. dengan ulir
    c. dengan *pin*
    d. dengan siku

f. Kunci Jawaban Formatif

DAFTAR PUSTAKA

Bailey, H and Handcock, D.W, 1979. *Brickwork and Associated Studies Volume 3*, The Macmillan Press Ltd, London.

Brand, Ronald E, 1975. *Falsework and Access Scaffolds in Tubular Steel,* Mc. Graw-Hill Book Company (UK) Limited, Berkshire England.

Dipohusodo, Istimawan. 1999. *Struktur Beton bertulang. Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia*, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

E.C. Adams. 1964. *Science in Building 1*. London-England: Hutchinson & Co.

Hansen, T.C. 1970. *Text Book on Concrete Technology*. Bandung : Directorate of Building Research – U.N. Regional Housing Cente.

Hansen, T.C. 1978. *Manual on Concrete Mix Design and Quality Contol*. Bandung Materials Testing Institute Bandung.

Hoedajanto, Dradjat, dkk. 1989. *Pedoman Beton 1989*. Bandung : Departemen Pekerjaan Umum.

Popovics, Sandor. 1979 : „ *Internal Structur of Concrete and its Optimization". Concrete Making Materials.* USA : Hemisphere Publishing Corporation.

Sinaga, H.R. dan Erfan. 1992. *Perencanaan Campuran Beton* Bandung: Devisi Pengembangan Bahan Belajar PPPG Teknologi Bandung

Taychene, C and Fraklin, R.E. 1982. *Design of Normal Concrete Mixes*. London : Her Majesty's Stationery Office.

Umboh,Willy dan Erfan. 1992. *Teknologi Bahan Beton.* Bandung: Devisi Pengembangan Bahan Belajar PPPG Teknologi Bandung

Wangsadinata, Wiratman. dkk. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Bandung : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.

-----------.2002. *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara bagian 3: Beton, Semen, Perkerasan Beton Semen.* Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Badan penelitian dan Pengembangan.

-----------.1985. *Annual book of ASTM Standards Section 4 Construction Volume: 04.01 Cement, Lime, Gypsum.* Philadelphia: ASTM

-----------.2002. *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara bagian 3: Beton, Semen, Perkerasan Beton Semen.* Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Badan penelitian dan Pengembangan.

GLOSARIUM

Agregat adalah butiran-butiran mineral yang dicampurkan dengan semen portland dan air menghasilkan beton

Agregat Halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm.

Agregat Kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5 - 40 mm.

Berat jenis SSD adalah berat jenis suatu benda dalam kondisi kering permukaan (saturated Surface Dry Condition) artinya pori-pori benda tersebut diisi oleh air dengan kata lain sudah jenuh, hanya permukaannya kering.

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk massa padat

Faktor Air Semen (fas) adalah angka perbandingan antara berat air bebas dan berat semen dalam beton

Konsistensi Normal Semen Portland adalah konsistensi kekentalan pasta semen portland sehingga jarum vicat diameter 10 mm dengan berat 300 gram dapat menembus pasta (penetrasi) 10 ± 1 mm

Pengikatan Akhir Semen Portland adalah berakhirnya proses pengikatan awal pasta yang diukur dalam waktu dengan jarum vicat yang berdiameter 1 mm dengan berat 300 gram dimana jarum tidak dapat menembus pasta. Pengikatan akhir semen maksimum 10 jam.

Pengikatan Awal Semen Portland adalah proses mulai terjadinya perkerasan pasta yang diukur dalam waktu dengan jarum vicat yang berdiameter 1 mm dengan berat 300 gram dapat menembus pasta ≤ 25 . Pengikatan awal semen portland minimum 60 menit

Semen Portland adalah bahan perekat Hidrolis yang dapat mengeras bila bersenyawa dengan air dan membentuk massa yang padat serta tak larut dalam air.

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan membentuk masa padat. Sedangkan tulangan adalah batang baja berbentuk polos atau deform atau pipa yang berfungsi untuk menahan gaya tarik pada komponen struktur, tidak termasuk tendon prategang, kecuali bila secara khusus diikut sertakan.

Tulangan polos adalah adalah batang baja yang permukaan sisi luarnya rata tidak bersirip atau berukir, dan tulangan deform adalah batang baja yang permukaan sisi luarnya tidak rata, tetapi bersirip atau berukir. Sedangkan tulangan spiral adalah tulangan yang dililitkan secara menerus membentuk suatu ulir lingkar silindris, (SK SNI T – 15 – 1991 – 03).

Ketentuan - Ketentuan

Ketentuan – ketentuan dimaksud sesuai dengan SK SNI T – 15 – 1991 – 03 yang meliputi pasal 3.1.5 dan pasal 3.2.1 sampai 3.2.4 yang bertujuan agar pekerjaan perencanaan dan pelaksanaan komponen struktur beton bertulang yang memenuhi ketentuan minimum serta mendapatkan hasil pekerjaan struktur yang aman dan ekonomis.